DOCUMENT RESUME

ED 057 473 EA 003 878

TITLE Efficiency in Resource Utilization in Education. Education and Development Technical Reports.

INSTITUTION Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris (France). Directorate for Scientific Affairs.

PUB DATE 69

NOTE 371p.; Text in English and French

AVAILABLE FROM OECD Publications Center, 1750 Pennsylvania Avenue, N.W., Washington, D.C. 20006 ($5.50)

EDRS PRICE MF-$0.65 HC-$13.16

DESCRIPTORS Cost Effectiveness; *Educational Planning; *Educational Quality; *Educational Resources; *International Organizations; Operations Research; Planning; Resource Allocations; Scheduling; Simulation; *Systems Analysis

ABSTRACT

This volume consists of papers presented at a meeting of scientific and technical personnel who examined and evaluated applications of systems analysis and operational research, and who related techniques to practical educational planning. Topics represent a variety of new management techniques available to educational administrators including operations research and cost-effectiveness models, facilities utilization, admissions, scheduling applications, and simulation and factor analysis techniques. (RA)

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH,
EDUCATION & WELFARE
OFFICE OF EDUCATION
THIS DOCUMENT HAS BEEN REPRODUCED EXACTLY AS RECEIVED FROM THE PERSON OR ORGANIZATION ORIGINATING IT. POINTS OF VIEW OR OPINIONS STATED DO NOT NECESSARILY REPRESENT OFFICIAL OFFICE OF EDUCATION POSITION OR POLICY

EA

ED057473

OECD OCDE

EDUCATION AND DEVELOPMENT
ENSEIGNEMENT ET DEVELOPPEMENT

TECHNICAL REPORTS
RAPPORTS TECHNIQUES

efficiency in resource utilization in education

l'utilisation efficace des ressources dans l'enseignement

EA 003 878

DIRECTORATE FOR SCIENTIFIC AFFAIRS
DIRECTION DES AFFAIRES SCIENTIFIQUES

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT
ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

Paris 1969

1

The Organisation for Economic Co-operation and Development was set up under a Convention signed in Paris on 14th December 1960 by the Member countries of the Organisation for European Economic Co-operation and by Canada and the United States. This Convention provides that the OECD shall promote policies designed:

- *to achieve the highest sustainable economic growth and employment and a rising standard of living in Member countries, while maintaining financial stability, and thus to contribute to the world economy;*
- *to contribute to sound economic expansion in Member as well as non-member countries in the process of economic development;*
- *to contribute to the expansion of world trade on a multilateral, non-discriminatory basis in accordance with international obligations.*

The legal personality possessed by the Organisation for European Economic Co-operation continues in the OECD which came into being on 30th September 1961.

The members of OECD are Austria, Belgium, Canada, Denmark, Finland, France, the Federal Republic of Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Japan, Luxembourg, the Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, the United Kingdom and the United States.

L'Organisation de Coopération et de Développement Economiques a été instituée par une Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, par les membres de l'Organisation Européenne de Coopération Economique, ainsi que par le Canada et les Etats-Unis. Aux termes de cette Convention, l'OCDE a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- *à réaliser la plus forte expansion possible de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays Membres, tout en maintenant la stabilité financière, et contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale;*
- *à contribuer à une saine expansion économique dans les pays Membres, ainsi que non membres, en voie de développement économique;*
- *à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire, conformément aux obligations internationales.*

La personnalité juridique que possédait l'Organisation Européenne de Coopération Economique se continue dans l'OCDE, dont la création a pris effet le 30 septembre 1961.

Les membres de l'OCDE sont : la République fédérale d'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les Etats-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie.

CONTENTS

TABLE DES MATIERES

Page

Preface 5

Préface 7

PART ONE/PREMIERE PARTIE

Introduction and summary of the discussions, by Gareth L. Williams 11

Introduction et résumé des débats, par Gareth L. Williams 21

PART TWO/DEUXIEME PARTIE

- The application of operational research to educational planning (Summary). 33

  L'emploi de la recherche opérationnelle dans le domaine de la planification de l'éducation, par René Lachène 35

- Design for an education system cost-effectiveness model, by Clark C. Abt . 65

  Schéma d'un modèle coût-efficacité applicable à l'enseignement (Résumé) . 92

- State-space models of educational institutions, by M.G. Keeney, H.E. Koenig, R. Zemach 99

  Modèles état-espace pour des établissements d'enseignement (Résumé) . . . 136

- The construction of timetables for Ontario Schools using a computer, by John Lions 147

  L'élaboration d'emplois du temps pour les écoles de l'Ontario au moyen d'un ordinateur (Résumé) 161

- Admission to schools, colleges and faculties with numerus clausus by centralised EDP systems, by Mac Murray and Göran Svanfeldt 173

  Application de systèmes EDP centralisés à l'admission dans les établissements d'enseignement secondaire et supérieur soumis au "numerus clausus" (Résumé) 208

- Research and management aspects of time-table automation for schools and universities, by J.S. Folkers 217

L'automatisation de l'emploi du temps : recherche et impact sur l'administration des établissements d'enseignement (Résumé) 242

- Simulation and rational resource allocation in universities, by Richard W. Judy 255

Simulation et allocation rationnelle des ressources dans les universités (Résumé) 286

- Two O.E.C.D. feasibility studies on applications of operational research to education in England and Wales, by David A.C. Heigham 299

Deux études de l'O.C.D.E. sur les possibilités d'application de la recherche opérationnelle dans l'administration de l'enseignement en Angleterre et au Pays de Galles (Résumé) 315

- Operations analysis in the U.S. Office of Education by David S. Stoller . 323

L'analyse des opérations par le U.S. Office of Education, (Résumé) 325

- Educational factors analysis and the educational opportunities survey, by A.M. Mood and F.D. Weinfeld 327

Analyse factorielle de l'éducation et l'étude sur l'égalité des chances (Résumé) 335

PART III/TROISIEME PARTIE

- Chairman's comment : toward strategic planning of education, by Russell L. Ackoff 339

Commentaires du Président : vers une planification stratégique de l'enseignement 359

LIST OF PARTICIPANTS/LISTE DES PARTICIPANTS 381

PREFACE

In 1966 the OECD Committee for Scientific and Technical Personnel embarked upon an experimental programme to examine and evaluate applications of systems analysis, operational research and related techniques to practical educational planning.

As part of this programme a series of ad hoc meetings of experts was arranged to provide an opportunity for specialists in the field to discuss their work among themselves and to open a dialogue between technical specialists and educational administrators. The present volume contains the papers presented to the meeting of January 1967.

The topics taken up at this meeting represented a variety of applications of new management techniques to educational administration, mainly at the level of the individual institution or local school system. Therefore no conclusions emerged which can be concisely summarised except the hope that the OECD will maintain a continuing interest in educational planning and management at the level of the individual institution - a wish that has since been endorsed by several members of the Committee for Scientific and Technical Personnel in their discussion of future programmes. More specific conclusions on particular topics can be found in the first chapter which summarises the discussions and attempts to draw some lessons from the experiences reported on.

PREFACE

En 1966, le Comité du Personnel Scientifique et Technique de l'OCDE a entrepris un programme expérimental pour examiner et évaluer les applications de l'analyse des systèmes, de la recherche opérationnelle et des techniques connexes à la planification de l'enseignement.

Dans le cadre de ce programme, plusieurs réunions ad hoc d'experts ont eu lieu qui ont fourni à des spécialistes l'occasion de discuter de leurs travaux et ont permis d'établir un dialogue entre des techniciens et des administrateurs de l'enseignement. Ce livre contient les documents présentés lors de la réunion de janvier 1967.

Les sujets choisis pour cette réunion portaient sur les divers moyens d'appliquer les nouvelles techniques de gestion à l'administration de l'enseignement, principalement au niveau d'établissements particuliers ou d'écoles locales. Toutefois, aucune conclusion n'a été tirée qui puisse être résumée de façon concise, sauf l'espoir que l'OCDE continuera à s'intéresser à la planification de l'enseignement et à la gestion au niveau des établissements particuliers - voeu qui depuis a été renouvelé par plusieurs membres du Comité du Personnel Scientifique et Technique, au cours des discussions de programmes futurs. On trouvera, dans le premier chapitre, des conclusions plus détaillées sur des sujets particuliers. Ce chapitre résume les discussions qui ont eu lieu et essaie de tirer quelques leçons des expériences présentées dans ce livre.

PART ONE

PREMIERE PARTIE

INTRODUCTION AND SUMMARY OF THE DISCUSSIONS

by G.L. Williams

The Increasing Importance of Efficient Resource Utilization in Education

Among the major concerns of any public sector planners are the problems of ensuring that :

(i) the total volume of resources devoted to the sector as a whole is of the right magnitude in relation to the other major sectors of human activity ;

(ii) the total resources of a sector are optimally allocated among the different claimants within the sector; e.g. secondary education, primary education, teachers' salaries, equipment, disadvantaged children and so on ;

(iii) the resources within each sub sector, financial and real are utilized in the most economically efficient way; e.g. in education for example, that classrooms are not empty unnecessarily, that teachers and pupils are in the right place at the right time; that schools are located so as to avoid the need for excessive travel time by pupils and so on.

The meeting at which the papers which comprise this volume were presented was concerned primarily with a number of topics which may be considered to fall under this third heading. It was inevitable, however, that discussion spilled over frequently into the other two areas of planning - demonstrating if nothing else, the integrated relationship of all planning activities.

In welcoming participants to the meeting Mr. Gass stressed that many of the problems facing educational planners today derived from the rapid rate of expansion of educational systems all over the world. He considered that it is legitimate to speak of an educational revolution. But as with all revolutions, there are certain dangers of the system getting out of control and he suggested that the tremendous problems which are encountered in making sense of and managing and planning effectively these revolutionary changes have led responsible administrators to be more than normally susceptible to some of the new analytical techniques and tools which claim to aid rational decision making. The aim of the meeting was to explore this proposition.

Mr. Gass recalled the nature of the OECD interest in education and educational planning. The broad objective was to examine and exploit the strong relationships between educational development and economic and social development in general. The OECD does not view education as being subordinate to the economy; however, it does appear to be the case that during recent decades, it is changes in opinion about the role of education in society and the obligations of the educational system to society which have been largely responsible for enormous changes in the educational system itself.

Within this broad objective the OECD is addressing itself to three problems. First is the problem of educational expansion, "How much?" "How fast?" "In what directions?" and "Where does the money come from?". The acceptance of rapid expansion as an educational objective has led in most OECD Member countries to big structural changes in education.

The provision of secondary and higher education for a small social and intellectual elite is qualitatively as well as quantitatively different from an educational system catering for the mass of young people in their teens and early twenties. This has led directly to the second area of OECD interest - a concern with the problems of educational innovation, in terms of content, structure, organisation and technology.

The third specific area of interest also arising in part out of rapid educational expansion is that of efficiency. It is not unreasonable for governments to adopt the position that as a legitimate claimant of increasing proportions of national resources, the educational system has the obligation to see that within its accepted objectives, these resources are allocated and utilized efficiently.

By and large however, the idea of productivity runs into strong resistance in many parts of the educational world. Educational administration has not participated to any great extent in the development of what may be called efficiency techniques, scientific management and so on. Many quantitative aids to management and decision making are now widely used in industry, they have made a considerable impact on military strategy and organisation, they are increasingly used in government generally, but they have not so far had any significant influence on the administration of educational systems. Mr. Gass could see good reasons for this reluctance, in the light of the concern of the educationist for the individual child as a developing human being and not simply as a cog in a machine, but thought that this fear was not only unfounded, but self defeating. The individual child can have far more opportunity for development in a properly managed system than in an uncoordinated system in which relationships between the parts are the results of apparently impersonal forces. He quoted the example of a child whose parents were under strong pressure to bring him to primary school one class ahead. The enquiry as to why this was important revealed that it would permit the child to have an extra year in secondary school, an extra chance at the age of eighteen, to take the university entry examination. This is not the result of planning or deliberate choice, it is the consequence of the development of the system without coordinated management decisions.

In a relatively short, small scale meeting it was not possible to deal in depth with the whole range of possible topics in the area of efficient resource utilization in education. The aim was rather to investigate a few topics where Operations Research and related techniques appear to able to make a contribution and which were believed to be of real interest to planners.

The Philosophy of Model Building in Education

The first topic was the improved administration of university institutions by means of analytical models, improved information systems and computer simulation. The paper by Professor Judy describes a system simulation model of the University of Toronto now in the advanced stages of development and testing. It is a model capable of testing the cost and manpower implications of a wide range of alternative assumptions about university development policy. One of the important by products of the C.A.M.P.U.S. model has been that it involves a thorough analysis of the university's administrative information system - what data need to be available and who needs to have them.

The model is essentially a quantitative description of the most important structural features of the university, with mathematical formulations of logical relationships between sets of independent variables called system parameters (which might be considered the policy objectives of the university authorities) and a set of dependent variables representing

resource requirements. The paper of Keeney, Koenig and Zemach presents "a discrete time, state space dynamic economic model of the input-output flows and unit costs in educational institutions". It is based particularly on the simulation of the decision making process at Michigan State University. The framework in mathematical terms is that of state-space with the control variables being grants and fellowships in the sectors of education in which students are to be steered.

The discussion of these papers soon broadered into a general consideration of the problems involves in modelling institutions of higher education and the results that might be hoped from such models. Participants agreed that one of the principal values of this type of modelling is that it forces the educational planner and researcher to face explicitly certain fundamental questions.

The first is the difficulty of establishing an adequate measure of the performance of an educational system. Many Educational planners usually pay lip service to this essential prerequisite and subsequently ignore it. For example, many of the manpower oriented models which have been constructed take an output specification in terms of the number of persons in different occupational categories who are "required". But few of them take account of facts such as that revealed in a recent Ford Foundation Study that in the United States 65 per cent of all graduate engineers are not working as engineers five years after graduation. It is hard to recall any explicit treatment in model terms of the the dynamics of the professions, taking into account such factors as occupational mobility, career patterns etc. and the economic and social factors affecting them.

A second focus of discussion concerned the qualitative aspects of education which is raised very explicitly by models such as those under discussion. Professor Ackoff quoted the example of a study which showed that the cost of teaching one person for one hour in the field of electrical engineering was seventeen times as great as that for a person studying literature. "Is this a good thing or a bad thing?". At some point, persons responsible for allocating resources must answer this question, implicitly or explicitly with or without the relevant information. Studies recently completed at the University of Pennsylvania show that the per hour cost of training a nurse is more than for any other professional worker. "Is this or is it not appropriate?". The point to be emphasised is that these models and the research associated with them will help to make these kinds of facts explicit, but the models do not by themselves provide the basis for deciding which allocations of resources are appropriate.

A third point was concerned more generally with the use of systems analysis and operational research in education. It was suggested that far too little is known about the causal structure of the educational system and that the only valid way of obtaining such information is by controlled experimentation. There is great scope for experimentation in education and the systems analyst and operations research worker can plan a useful role in assisting in the design and control of experiments to build up the knowledge required to formulate models useful to the educational planner.

Implicit in the models under discussion is the view that each university ought to plan itself as effectively as possible. It is, however, increasingly clear that there are major problems of allocating resources between universities. It is quite impossible for every university to be a centre of excellence in every area. Mention was made of recent development in the United States, where eight major universities are seeking a way of allowing students to use the facilities of all of the schools although they are registered and take their examinations in one of them. This permits an individual university to develop its excellence in a few areas of specialisation, to service the other universities in these areas, and to make use of the excellence of the other universities in a more effective way

(It was mentioned in discussion that the traditional German custom of the wandering student taking courses in different universities was one way - perhaps not the most efficient -- of dealing with this).

Dr. Abt thought that model builders make all too little use of the vast amount of educational research that has been undertaken. He dissented from the view that it is impossible to start thinking in terms of optimising a curriculum because nothing is known. It is true that there are very few controlled experiments with statistical validity but in fact a great deal is known about the effects of different curricula and teaching methods. Even though much of this information is impressionistic it can provide the basis for the development of some measures of effectiveness in the micro-structure of the curriculum. Dr. Abt quoted a number of examples. From Montessori's work we know about multiple sensory experiences, particularly in elementary grades; Bloom's work provides information on the points of maximum rates of learning for the development of certain of the affective and cognitive components of a child's education, and suggests the usefulness of exploiting the points where maximum learning takes place. Skinner and Brunner provide some notions about the development of cognitive structure and what type of instruction best fosters it. A.S. Neill in his work at Summerhill has given hints about the effects of reducing psychological impedances to learning in a very permissive environment. Dr. Abt suggested that in order to measure the effectiveness of different types of curricula, we must make the maximum use of the impressionistic data we already have, if for no other reason than to design the controlled experiments that Professor Ackoff had mentioned.

Other participants, however, contended that measures of effectiveness are relatively meaningless as a guide to distribution of effort in an economic system unless there are corresponding measures of cost. Mention was made of simulation models which can help to overcome this objection, but it was doubted whether, for the time being, it is possible to build simulation models of educational systems what can suggest optimal solutions to policy makers. Rather they can give information which will permit the decision maker himself to be much clearer about the implications of different alternatives. The difficulty occurs primarily because of the impossibility at present of specifying a comprehensive objective function.

Adaptive Control

Another general subject raised by these two papers was the application of control theory to the real world of educational planning. Discussion centred on the difficulty of identifying the control variables and the controllers. It was pointed out that the complexity of the control mechanism in the educational system, the fact that interrelated decisions are taken at many levels, the time lags between taking of decisions and observing their effects and the stochastic elements of the system, all make the direct application of control theory an extremely hazardous operation. Professor Clough from personal experience as both an allocator and receiver of research funds spoke of the complexity of the factors involved in arriving at decisions about allocating research grants and the difficulty of incorporating all these in any viable model. He submitted that even when we say that the Government makes a decision what we really mean is that many committees comprised of government officials, university professors and so on are making a multitude of decisions, and addressing himself particularly to Professor Koenig he asked how far the model builders had got in identifying the control variables? He thought nonetheless that this was a very valuable approach.

Mr. Heigham mentioned two control variables available to higher education policy makers in the United Kingdom. The number of new places allocated, especially for undergraduates, is susceptible to strong influence by the authorities. The trouble with this control is that it is essentially negative, it is possible to prevent students going to faculties they may wish to enter, but only in a very indirect way can it encourage students to enter faculties they do not wish to. The stage may be being reached in the U.K. where the authorities would like more students to enter certain faculties than are willing to do so. The other control variable available to the authorities is grants to students. It appears, however, particularly in the case of post-graduate research grants, that if the level of support is above a rather low threshold, it is not so much financial incentives as opportunities and mental stimulation which influence graduates in the selection of fields of research. It is hard to see how this kind of variable - mental stimulation offered by a subject, or the other people working in it - can ever be within the control of anyone.

In replying to the discussion Prof. Judy said that they had been very lucky in the University of Toronto to receive the wholehearted support of the university administration at all levels. The Director of the Office of Institutional Research, under whose auspices the C.A.M.P.U.S. model has been built, sits at the side of the university president in all major committee meetings, and in this way is able to spot problems as they arise, and bring the resources of his management group to bear on these problems. A sub-model with similar organisational arrangements has been set up for the Faculty of Medicine which is expanding especially rapidly.

Professor Judy emphasised that his group had built a model with a number of very specific purposes in mind. He admitted that it could - if one wanted to be pejorative - be described as a mere a book-keeping model this was in order. However, he claimed that it did perform the essential function of a model which is to abstract from reality those factors which are relevant for rational taking of specific decisions in a particular area. To questions about the desirability of using probability estimates rather than point estimates for the values of various coefficients he agreed that this would be preferable but pointed out the extreme difficulties of such an approach due to the complex combinations of variables involved.

On the issue of the management and control of universities and university systems Professor Judy thought that the greatly increasing public support for universities would put increasing pressure on them to satisfy the public that these resources were being used in an efficient way. He felt that it is in the universities' own interests to try to develop management tools which will enable them to undertake this responsibility of making good use of public funds. In this way they can preserve their autonomy, rather than having some management of a bureaucratic sort thrust upon them from the outside.

He agreed that there are not yet available the information or techniques to construct reliable "optimising" models with well designed objective functions. He also agreed that much more needs to be known about the decision making structure. On the other hand he thought that these models do provide a good deal of information by way of "what if" questions to people of all levels of university administration and that these questions and their answers remained broadly similar whatever the precise decision-making structure may be.

Professor Koenig concluded this discussion by stressing that one of the greatest values of optimal control theory has not been so much that it shows the specific solution to particular problems with particular numbers, as that within a given conceptual framework it defines what can and cannot be done.

University Admissions Procedures

The paper by Murray and Svanfeldt describes the procedure to be adopted in Sweden for allocating applicants to places in university faculties with a limited number of places available, according to the number of places available in each institution, the wishes of the individual student and the extent to which his previous educational achievement fits him for the institution of his choice. In essence the system is as follows. Each applicant for a university place completes a single form on which he states the educational institutions he wishes to enter in order of a preference and gives a summary of his previous educational achievement. The applications are processed automatically according to previously specified weighting criteria. This procedure, centralised and automatic, can reduce for students much of the gaming or gambling element involved in applying for university places, avoiding the need for multiple applications and it can relieve students of the agonising choice of whether or not to accept the offer of a place from a less preferred institution while awaiting a reply from a more preferred one. It was also pointed out by the authors of the paper that from the planning point of view, one very useful by-product of this procedure is a set of statistics indicating the ex ante demand for places in restricted university faculties. These data can do much to help solve the so-called "bottleneck" problem which is a serious weakness of the forecasting models of the Markov Chain type when only ex post statistics are available (1).

The meeting considered a number of ideal admissions processes which would simultaneously satisfy students and allocate them in accordance with their own abilities and society's needs. The point was made that it is difficult in all existing admissions systems to measure the intensity of a student's preference for a particular institution. One suggested solution was to give each applicant a "budget", say a hundred points, to allocate among the different institutions according to the intensity of his preference. A student who had a very strong preference for a particular institution would give a higher proportion of his points to that institution than someone whose relative preference was less strong. One difficulty of this solution is that it introduces an element of gaming for the student, who has to try to guess what weighting system is used between preferences and qualifications and also how other applicants have allocated their preferences if he wishes to maximise the joint probability of getting into the institution of his choice and of getting into some institution at all. A further difficulty is that of assigning relative weights to the intensity of the students' preferences and the extent of the previous educational achievements. For example, how can a choice be made for a place in a chemistry faculty between one student who has given all hundred points to that faculty but had bad marks for chemistry in his secondary school examination and a student who had very good marks for chemistry but allocated only 51 per cent of his points to that particular faculty. One possibility, of course would be a simple binary system in which below a certain examination mark, students would not qualify and above a certain mark places would be allocated according to the intensity of expressed preferences.

It was also pointed out that any centralised admissions procedure along these lines can increase the possibilities of a few wellknown universities having even more opportunity to cream off the best students. It is a matter of broad policy whether or not this is considered desirable. What the systems planner can say is that it may happen and define the conditions which will accentuate such a situation.

---

(1) See for example the paper fy Armitage and Smith in "Mathematical Models in Educational Planning (OECD 1967).

Professor Ackoff mentioned a case of an admission's procedure which had been used by one university in the United States in which a certain proportion of rejected students were admitted on a random basis. The subsequent reports of these students were compared with those admitted by rather more orthodox methods and no discernible difference was found in the results of the two groups of students. This led to a modification of the selection procedure; and he wondered if an adaptive mechanism of this type could not be built into an automated admissions procedure of the Swedish type so that ultimately the admissions procedure optimised the graduation rate or some other objective function.

A suggestion by Mr. Nygaard that gave rise to an interesting discussion was that the first computer allocation run should be provisional. Applicants should be sent a provisional result of their application together with aggregate information on the examination marks and preference weighting that led to entry to particular institutions. They would have a chance to reapply with this information in mind after which the definite allocation would be made. This could greatly facilitate student choice. He agreed that it would add a little to cost but suggested that choice of university is one of the most important a person makes in his life, and merited very careful efforts to ensure that people made their choices on the basis of the best possible information.

Mention was made by Dr. Lions of the fact that in Canada it is the Universities who are often competing for the best students. Universities, therefore, tried to speed their admissions procedures as much as possible since students often accept the first offer they receive. For this reason the University of Toronto currently processes its applications on the same day as Grade 13 results are published, with the result that the student often receives the offer of a university place before his high school results.

The importance of the Swedish experiment was generally agreed in the light of the increased pressure of demand for university places in many countries and particularly as many countries are moving towards centralised admissions procedures, either at the national level or between groups of universities.

Timetables

The third major topic of the meeting was "Improving classroom and Teacher Utilization through Automated Timetable Scheduling". The construction of a good timetable is becoming increasingly difficult with the expansion in the size of secondary schools, the tendency for greater flexibility in the timetable offering more choice to the students and the need, particularly in view of the rapid rise in enrolments to make maximum use of existing classroom facilities and teachers. The paper by Lions describes one particular application of a timetable construction procedure in a number of secondary schools in the Ontario area. It suggests that there are difficulties in simulating hand methods of timetable construction on a computer and that new methods are needed. Lions concludes that the rapid, economical construction of timetables of uniformly good quality will eventually allow schools to reschedule classes more frequently and increase the efficiency of school administration.

Folkers surveys the timetable problem in more general terms. The purpose of his paper is to indicate the principles involved in constructing a timetable by digital computer and the implications of timetable automation for school and university management in general.

The discussion ranged from technical problems of timetable formulation to general questions of educational philosophy implied by the fact that schools have not fixed timetables at all. Mr. Levine raised the question whether in attempting a "general" solution to the timetable problem the most important piece of information of all was not being neglected

- last year's timetable. After all, what a master or school administrator does is to take the previous timetable, which after all has "worked" for better or worse, and try to adapt it to the new situation of teachers, classes and pupils. He wondered whether the automated timetable specialists were not giving themselves unnecessary difficulties in rejecting this approach. Mr. Folkers replied that in a fully general system this method of scheduling is included because one of the features of such a system is that it can accomodate information about the preceding timetable and which can, if necessary, produce alternative timetables at any time, in response to changes in available facilities or other circumstances.

The wider application of timetable solutions to educational planning problems was considered. It was suggested that timetables could be organised so as to miximise rates of classrooms and teacher utilization (within whatever constraints are necessary). This would make timetables a much more interesting problem to educational planners and administrators. On the one hand improved timetables could permit more pupils in existing schools with existing teachers; on the other in new schools timetable experimentation at the planning stage ought to make possible a more rational planning of classroom space to meet the objectives of the new school. Mention was made of work in this direction in the United States including the well known example of Merrimac Junior College in St. Louis where a substantial cost saving was made through intensive simulations of class-scheduling arrangements before the institution was built.

One criticism of all work on computerised timetabling so far was that while it is reasonably successful so long as the basic unit was a class of pupils from which there were few deviations in successive class periods, it could not cope with the situation where the unit was the individual child. This led to an attack by Dr. Abt on the whole conception of class scheduling which he claimed was the wrong problem. If one adopted the increasingly held view that interest and motivation is the most important aspect of learning and that different children had widely different interests, motivations and learning curve patterns, what was important was to create conditions in which the individual child could pursue his own interests at his own pace. He denied that children did not want to learn; if this appeared to be the situation in particular cases this was because the children were badly taught. He maintained that the physical organisation of the school needed completely rethinking; instead of standard classrooms what is required are private study areas, "tutorial booths" where students can meet teachers individually, areas for small group activities - seminars, and finally flexible large group classrooms and lecture halls. Libraries need to be organised so as to catch a child's imagination rather than presenting the forbidding aspect of rows and rows of neatly lined up book spines.

In dissenting somewhat from this view Dr. Lions claimed that although in many ways' ideal, it is very extravagant of resources. To achieve what Dr. Abt was suggesting would require about one teacher per pupil. In Canada there is a lot of talk about individual timetabling and at the same time a teacher shortage. One set of proposals would have required increasing the teacher stock by some 25 % - 30 %. Given the teacher shortage, these extra teachers if they could be found would very likely be of lower quality than the existing stock. It was vital to take all these types of costs into account in discussions of improvements of the educational system. Dr. Folkers thought that it was a misunderstanding to claim that the timetable solutions offered were based upon the concept of students being grouped in classes. He assumed it would be possible to obtain information on the statistical probabilities of pupils being interested in particular activities the school was able to offer them, and on the basis these statistical data to produce timetables that had nothing to do with philosophical considerations.

He thought that in any case computerised timetabling was more likely to deal with the flexibility required in the type of situation described by Dr. Abt than manual methods.

Resource Allocation and Cost Effectiveness Models

Abt's paper describes an overall education cost/effectiveness model designed to evaluate the school, student and community effects and associated costs of alternative U.S. Elementary and Secondary Education Act of 1965 programmes for disadvantaged children. Some participants wondered whether the very comprehensiveness of the model did not in some measure restrict the likely extent of its use. It was remarked that the complexity of the model makes valid sensitivity analysis and similar exercises extremely difficult since there are too many variables impinging upon too many other variables : when this is combined with the impressionistic evidence that constitutes much of Dr. Abt's data inputs its operation is likely to be very hazardous. Others thought that the model was a very useful research tool, indicating priority areas for empirical research. Mr. Hyland wondered, however, particularly in view of the purposes for which the model had been built, whether it might not become an elaborate rationalisation for existing policies. Dr. Stoller said that he felt he ought to take some if not all of the onus of the monster model approach off the shoulders of Dr. Abt and put it on to the back of the U.S. Office of Education. This Office is essentially trying to ponder the imponderable, and to seek answers in areas where a great part of the fundamental data that are required for really scientific investigation simply does not exist. This kind of study can be considered a sociological equivalent of some of the jet transport studies that were made some years ago, before there was anything but crude sketches on the drawing boards. At that period, all sorts of assumptions were made about data inputs and the relationships between the variables. But it was recognised that these were assumptions and that the studies were simply schemes for rationalisation in the face of some of these uncertainties. Similarly the Abt model is the rationalisation of a great number of uncertainties. Many of the hypotheses of the Abt model are indeed simply hypotheses that need empirical testing before they can be used as a firm basis for resource allocation. The model should be seen as part of the long term strategy of the Office of Education rather than a device for specific application to a particular current problem. The date base for this model and for any rational evaluation of educational activities in the United States does need considerable improvement, but it is a very long term problem. There is in the Office of Education a programme for the establishment of a General Information System : but this is not something that will be achieved quickly.

School Location Planning

Lachène's paper summarises a practical example of school location planning in France in order to make the best use of existing facilities and minimise the total cost of new facilities in one geographic region after the recent major reform of secondary education. It analyses the costs associated with the location of different types of secondary schools required by the reform and using district by district forecasts of the school population indicates the pattern of schools by type and location which would meet the objectives of the reform at least cost. This study being one which was undertaken on behalf of the Ministry of Education and the Regional Planning authorities provoked a useful discussion

on the importance of the contacts between the policymakers and planners who want operational research studies and the technicians who undertake the studies. A number of views were expressed about the role of the technician in the planning (policy-making process) some claiming that in building his models and undertaking his studies, the technician did acquire special knowledge even on matters of judgement, which should at least be communicated tc the policymaker. There was, however, general agreement that in the present state of knowledge at any rate, mathematical techniques were valuable for promoting rigorous thought, and for making assumptions explicit rather than for any startling insights given by the models themselves. The view was, however, expressed that this might change as data became available to build more complex models based upon known interrelationships between many variables.

The meeting concluded with a general discussion of Systems Analysis and Operations Research in National Ministries of Education, introduced by David Heigham of the U.K. Department of Education and Science and David Stoller of the U.S. Office of Education. This general discussion gave participants a chance to return to many of the topics which had been discussed during the previous two days and culminated in an important comment by the Chairman of the meeting, Russell Ackoff, which is reproduced as a separate chapter of the present volume.

INTRODUCTION ET RESUME DES DEBATS

par G.L. Williams

Importance croissante d'une utilisation efficace des ressources dans l'enseignement

Tout planificateur d'un secteur public se heurte aux grands problèmes suivants :

(i) Veiller à ce que le volume total des ressources consacrées à l'ensemble du secteur soit fixé à un juste niveau, par rapport aux autres grands secteurs de l'activité humaine .

(ii) Veiller à ce que le total des ressources d'un secteur soit réparti de façon optimale entre les différentes parties prenantes du secteur, par exemple : enseignement secondaire, enseignement primaire, rémunération du personnel enseignant, équipement, enfants défavorisés, etc.

(iii) Veiller à ce qu'à l'intérieur de chaque sous-secteur, les ressources financières et matérielles soient utilisées le plus efficacement possible du point de vue économique; par exemple, s'agissant de l'éducation, comment veiller à ce que les salles de classe ne soient pas inoccupées, sans nécessité; que les maîtres et les élèves ne passent pas trop de temps en déplacements, etc.

La réunion pour laquelle ont été soumis les documents réunis dans cet ouvrage était consacrée à un certain nombre de sujets qui peuvent être classés sous la troisième rubrique. Cependant - et c'était inévitable - les débats ont souvent dévié sur les deux autres domaines, ce qui prouve l'interdépendance de toutes les activités de planification.

En souhaitant la bienvenue aux participants, M. Gass a souligné que bon nombre des problèmes qui se posent aujourd'hui aux planificateurs tiennent à l'expansion rapide des systèmes scolaires dans le monde entier. Il a estimé qu'on pouvait, à bon droit, parler d'une révolution dans l'éducation, mais, comme toutes les révolutions, celle-ci comporte certains dangers, le système risquant d'échapper à tout contrôle. Devant les problèmes énormes qui consistent à donner un sens à ces changements révolutionnaires, à prévoir les structures voulues et les planifier efficacement, les administrateurs responsables sont plus que normalement réceptifs aux nouvelles techniques d'analyse qui doivent permettre de prendre des décisions rationnelles. La réunion avait pour objet d'explorer cette proposition.

M. Gass a ensuite rappelé que l'OCDE s'intéresse à l'éducation et à la planification de l'enseignement, dans la mesure où il s'agit d'étudier les relations étroites qui existent entre l'expansion de l'enseignement et le développement économique et social en général. L'OCDE ne considère pas que l'enseignement est subordonné à l'économie; mais il se trouve que durant les dernières décennies, l'opinion que l'on se faisait du rôle de l'éducation dans la société et des obligations du système scolaire vis-à-vis de cette société s'est modifié, et c'est cette évolution qui explique en grande partie les changements considérables intervenus dans le système lui-même.

Dans le cadre de ce vaste objectif, l'OCDE se pose trois problèmes. D'abord, celui de l'expansion de l'enseignement: jusqu'où ?", "à quel rythme?", "dans quelles directions?" et "avec quel argent?". La plupart de ses pays Membres ayant fait de l'expansion rapide un objectif d'éducation, l'OCDE a été amenée à étudier les grandes modifications structurelles du système. D'autre part, un enseignement secondaire et supérieur dispensé à une petite élite sociale et intellectuelle diffère, quantitativement et qualitativement, de l'éducation à laquelle accède la masse des enfants et des adolescents. C'est ce qui a conduit l'OCDE à étudier les problèmes de l'innovation dans l'enseignement, qu'il s'agisse du contenu de la structure, de l'organisation ou des techniques.

C'est également l'expansion rapide du système qui a, en partie, amené l'OCDE à s'intéresser à un troisième domaine spécifique, à savoir l'efficacité de l'enseignement. Les gouvernements sont justifiés à adopter la position suivante: le système scolaire, du fait qu'il réclame, à bon droit, une part de plus en plus grande des ressources nationales, est tenu de veiller à ce que ces ressources soient réparties et utilisées de façon efficace, dans le cadre des objectifs qui ont été acceptés.

Cependant, l'idée de productivité rencontre une forte résistance dans de nombreux milieux enseignants. Les administrations scolaires n'ont pas beaucoup participé au développement de ce qu'on peut appeler les techniques d'efficacité, la gestion scientifique, etc. qui cependant sont aujourd'hui largement employés par l'industrie, le gouvernement et pour la stratégie et l'organisation militaires; M. Gass pense que cette répugnance s'explique par le fait que les éducateurs craignent que l'enfant ne soit plus considéré comme un être humain en développement, mais simplement comme l'un des rouages d'une machine; cette crainte, à son avis, non seulement n'est pas justifiée, mais est en soi une cause d'échec. L'élève a beaucoup plus de chances de se développer dans un système convenablement administré que dans un mécanisme dont les différentes parties s'articulent au gré de forces apparemment impersonnelles. Il cite l'exemple d'un enfant dont les parents demandaient avec insistance qu'il sautât une classe à l'école primaire. Renseignements pris, on a découvert que s'ils y attachaient tant d'importance, c'est parce que leur enfant pourrait alors passer une année de plus dans l'enseignement secondaire et avoir ainsi à 18 ans de plus grandes chances de réussir à l'examen d'entrée à l'université. Ce n'est pas là le résultat d'une planification ou d'un choix délibéré, mais la conséquence d'un système qui s'est développé sans coordination des décisions administratives.

Dans une réunion relativement brève et restreinte, il n'était pas possible de traiter en profondeur tous les thèmes possibles qu'englobe l'utilisation efficace des ressources affectées à l'enseignement. On s'est plutôt efforcé d'étudier quelques sujets où la recherche opérationnelle et les techniques connexes semblent pouvoir être utiles et présenter un intérêt réel pour les planificateurs.

Les principes de la construction de modèles pour l'enseignement

Le premier de ces sujets fut l'amélioration de l'administration des établissements universitaires par le recours à des modèles analytiques, à des systèmes d'information plus perfectionnés et à la simulation par ordinateur. Dans son document, le Professeur Judy décrit un modèle de simulation du système d'une université (Toronto). C'est un modèle capable de tester les incidences, pour les coûts et la main-d'oeuvre, d'une large gamme d'hypothèses alternatives concernant la politique de développement d'une université. Ce "modèle C.A.M.P.U.S." a eu une conséquence indirecte importante, à savoir qu'il a fallu

faire une analyse approfondie du système d'information administrative de l'université - quelles données doivent être disponibles, qui doit les avoir, etc...

Le modèle est essentiellement une description quantitative des caractéristiques structurelles principales de l'université, comportant la formulation mathématique des relations logiques entre des séries de variables indépendantes - les paramètres du système (qui peuvent être considérés comme les objectifs politiques de la direction) et une série de variables dépendantes représentant les besoins en ressources. Dans leur article, Keeney, Koenig et Zemach présentent "un modèle dynamique état-espace, à variable temps discrète, des flux input-output et des coûts unitaires dans les établissements d'enseignement". Il est basé en particulier sur la simulation du processus de décision de l'Université du Michigan. Le cadre, en termes mathématiques, est celui de l'état-espace, les commandes étant les subventions et les bourses dans les secteurs de l'enseignement où les étudiants vont être dirigés.

Les débats consacrés à ces documents se sont rapidement élargis en une discussion générale des problèmes qu'implique la construction de modèles des établissements d'enseignement supérieur, et des résultats qu'on pouvait en espérer. De l'avis général, l'un des principaux avantages de ce genre d'exercice est qu'il oblige le planificateur et le chercheur à affronter explicitement certaines questions fondamentales.

La première tient à la difficulté d'établir une mesure exacte du rendement d'un système scolaire. Un grand nombre de planificateurs de l'enseignement, après avoir indiqué que c'était là un préalable essentiel, n'en tiennent généralement plus compte ensuite. Par exemple, la plupart des modèles concernant la main-d'oeuvre qui ont été construits, prennent comme spécification d'output le nombre de personnes qui sont"nécessaires" dans les différentes catégories professionnelles. Mais bien peu d'entre eux prennent en considération des faits analogues à celui qu'a révélé une récente étude de la Fondation Ford, à savoir qu'aux Etats-Unis, 65 % des ingénieurs diplômés ne travaillent plus comme ingénieurs cinq ans après l'obtention de leur diplôme. Il serait difficile de trouver, dans l'analyse de la dynamique des professions, des modèles tenant explicitement compte d'éléments tels que la mobilité professionnelle, les conditions et perspectives d'avancement, etc., pas plus que les facteurs économiques et sociaux qui entrent en jeu.

Le deuxième thème des débats a porté sur les aspects qualitatifs de l'éducation, la question étant très explicitement posée par les modèles en discussion. Le Professeur Ackoff s'est référé à une étude montrant que le coût, par étudiant, d'une heure de cours (d'enseignement supérieur) est dix-sept fois plus élevé dans le cas de l'électricité que dans celui de la littérature. "Est-ce un bien ou un mal ?". Ceux qui attribuent les ressources doivent, à un moment donné, répondre à cette question implicitement ou explicitement, qu'ils possèdent ou non les informations nécessaires. Des études faites récemment par l'Université de Pennsylvanie ont montré que le coût horaire de formation d'une infirmière est supérieur à celui de n'importe quel cadre administratif et technique. "Est-ce qu'il doit ou non en être ainsi ?". L'important, c'est que ces modèles, et les recherches qu'ils impliquent, aideront à expliciter les faits de ce genre; en revanche, ils ne permettront pas à eux seuls de décider d'une juste répartition des ressources.

Le troisième point, plus général, a concerné l'utilisation de l'analyse des systèmes et de la recherche opérationnelle pour l'enseignement. On a fait valoir que les différentes variables agissant sur le système scolaire sont encore très mal connues et que seule l'expérimentation contrôlée permet d'obtenir les informations voulues. L'enseignement offre un large champ à l'expérimentation, et les spécialistes de l'analyse des systèmes et de la recherche opérationnelle peuvent aider à concevoir et à contrôler les expériences de nature à fournir les connaissances nécessaires pour formuler des modèles qu'utilisera le planificateur.

Les modèles en discussion supposent implicitement que chaque université doit, dans toute la mesure du possible, faire elle-même son plan. Or, il est de plus en plus évident que la répartition des ressources entre les universités pose de graves problèmes. Il est tout à fait impossible que chaque université soit la mieux spécialisée dans tous les domaines. On a signalé qu'aux Etats-Unis, huit grandes universités cherchent depuis peu à permettre aux étudiants de profiter de l'enseignement qu'elles dispensent toutes les huit, bien qu'ils soient inscrits et passent leurs examens dans l'une d'elle uniquement. Chaque université peut ainsi devenir excellente dans quelques domaines dont elle peut faire profiter les autres établissements, elle-même utilisant plus efficacement les spécialisations des autres universités. On a mentionné, au cours du débat, que la coutume traditionnelle allemande de l'étudiant itinérant qui suit des cours dans les différentes universités est une solution - même si ce n'est peut-être pas la meilleure.

M. Abt pense que les constructeurs de modèles n'utilisent pas suffisamment les innombrables travaux de recherche qui ont été consacrés à l'enseignement. Il ne partage pas l'avis de ceux qui estiment impossible, faute des éléments d'information nécessaires, de commencer à travailler à l'optimalisation d'un programme. Certes, il y a très peu d'expérimentations contrôlées valables statistiquement, mais en fait, on connaît déjà bien les répercussions des différents programmes et méthodes d'enseignement. Même si, pour la plupart, ces renseignements sont des "impressions", ils peuvent fournir une base pour des mesures de l'efficacité dans la micro-structure du programme. M. Abt cite un certain nombre d'exemples. Les travaux de Mme Montessori nous ont beaucoup appris sur les multiples expériences sensorielles, à l'école élémentaire notamment; ceux de Bloom nous donnent des informations sur les points de maximalisation d'acquisition des connaissances pour le développement de certains des facteurs affectifs et cognitifs entrant en jeu dans l'éducation d'un enfant, et estime utile d'exploiter ces points d'acquisition optimale. On trouve chez Skinner et Bruner des notions sur le processus de la cognition et sur le type d'enseignement le mieux à même d'en favoriser le développement. Les recherches faites par A.S. Neill à Summerhill ont fourni des indications sur les effets d'une réduction des obstacles psychologiques à l'acquisition des connaissances dans un milieu où l'enfant se sent très libre. M. Abt estime que, pour mesurer l'efficacité des différents types de programmes d'études, nous devons utiliser au maximum les renseignements que nous possédons déjà, ne serait-ce que pour mettre au point les expérimentations contrôlées dont il a parlé.

D'autres participants ont fait valoir, cependant, que des mesures de l'efficacité ne permettent guère de savoir comment répartir les efforts dans un système économique, si l'on n'a pas les mesures correspondantes des coûts. On a signalé que les modèles de simulation peuvent aider à surmonter cette difficulté, encore qu'il ne soit certain qu'on puisse, à l'heure actuelle, construire des modèles indiquant les solutions optimales aux responsables de la politique; ils donneraient plutôt des informations qui permettraient au décideur d'avoir une idée beaucoup plus exacte des implications des variantes qui lui sont soumises. La difficulté tient essentiellement à ce qu'il est en ce moment impossible de déterminer une fonction objective globale.

Commandes ajustées

Ces deux documents ont soulevé une autre question d'ordre général, à savoir l'application de la théorie des commandes à l'élaboration proprement dite d'un plan scolaire. La discussion fut centrée sur la difficulté d'identifier les commandes et leurs mécanismes. On a fait remarquer qu'une application directe est extrêmement hasardeuse, car les mécanismes

sont très complexes du fait que des décisions interdépendantes sont prises à des niveaux différents, qu'il y a décalage dans le temps entre la décision et ses répercussions observables, et du fait aussi des éléments stochastiques du système scolaire. Le Professeur Clough, qui est à la fois un dispensateur et un bénéficiaire des crédits de recherche, a souligné la complexité des facteurs dont il faut tenir compte pour arriver à prendre des décisions sur la répartition des subventions de recherche, et la difficulté de les incorporer tous dans un modèle viable. En effet, même lorsqu'on dit qu'une décision est prise par le gouvernement, cela signifie en réalité que des nombreux comités composés de fonctionnaires, de professeurs d'universités, etc. prennent une série de décisions. S'adressant en particulier au Professeur Koenig, il lui a demandé dans quelle mesure les constructeurs de modèle sont parvenus à identifier des commandes. Il estime néanmoins que la méthode est en soi très intéressante.

M. Heigham a indiqué qu'au Royaume-Uni les responsables de la politique de l'enseignement supérieur disposent de deux commandes. Tout d'abord le nombre des nouvelles places attribuées au niveau de la licence, notamment, dépend très largement des autorités. Cependant, c'est là une commande essentiellement négative : si elle donne la possibilité d'empêcher les étudiants de s'inscrire dans les facultés qui leur plaisent, elle ne permet que très indirectement de les inciter à entrer dans des facultés qui ne leur plaisent pas. Or le Royaume-Uni en est au stade où les autorités voudraient avoir un plus grand effectif dans certaines facultés. La seconde commande est constituée par les subventions aux étudiants. Toutefois, en particulier dans le cas des subventions de recherche au niveau du doctorat, si l'aide dépasse un seuil, assez bas d'ailleurs, ce n'est pas tant le stimulant financier que les possibilités de travail et l'intérêt intellectuel qui déterminent le choix du domaine de recherche. On ne voit pas comment cette variable - intérêt intellectuel qu'offre un sujet ou les chercheurs qui y travaillent - pourra jamais être sous la commande de qui que ce soit.

Le Professeur Judy a indiqué que le groupe qu'il dirige à l'université de Toronto a construit un modèle qui répond à des fins très précises et que les esprits grincheux peuvent qualifier de "comptable". C'est pourtant un modèle, puisqu'il sort de la réalité les facteurs qui permettent de prendre en connaissance de cause des décisions précises dans un domaine donné. A son avis, il est préférable de déterminer la valeur des coefficients par des estimations probabilistes plutôt que par des estimations ponctuelles, mais il a souligné que c'est là un exercice difficile, étant donné les combinaisons complexes des variables en cause.

Quant au problème de l'administration et du contrôle des établissements et systèmes universitaires, le Professeur Judy estime que les pouvoirs publics, du fait de l'aide accrue qu'ils apportent aux universités, vont les tenir plus en lisière pour s'assurer que ces ressources sont efficacement utilisées. A son avis, les universités ont elles-mêmes intérêt à mettre au point des instruments de gestion qui leur permettent de faire bon usage des deniers publics, car elles pourraient ainsi sauvegarder leur autonomie et ne pas se voir imposer de l'extérieur une administration bureaucratique.

Il pense, lui aussi, qu'on ne possède pas encore d'informations et de techniques permettant de construire des modèles valables "d'optimalisation" avec des fonctions objectives bien déterminées. De même, il est d'avis qu'il faut beaucoup mieux connaître le mécanisme du processus de décision. En revanche, il estime que ces modèles fournissent un grand nombre de renseignements, car ils posent à tous les niveaux de l'administration universitaire des questions sur "ce qui arriverait, si ..." et que ces questions, comme les réponses qui y sont faites, sont sensiblement les mêmes, quel que soit le mécanisme du processus de décision.

Le Professeur Koenig a conclu ce débat en soulignant que l'un des plus grands avantages de la théorie des commandes n'est pas tant de fournir des solutions à des problèmes spécifiques, que de définir ce qui peut être fait ou non dans un cadre conceptuel donné.

Procédures d'admission à l'université

Dans leur document, Murray et Svanfeldt exposent la procédure qui va être adoptée en Suède pour répartir les étudiants entre les facultés disposant d'un nombre de places limité, compte tenu des désirs exprimés par les candidats et de leurs résultats scolaires. Après avoir résumé les points essentiels de leur article, les auteurs ont souligné que cette procédure va, en outre, fournir au planificateur une série de statistiques sur la demande ex ante de places dans les facultés soumises au "numerus clausus"; ces données peuvent grandement aider à résoudre le problème des "goulots d'étranglement", qui est l'une des faiblesses des modèles bâtis sur les chaînes de Markhov, lorsque seules des statistiques ex post sont disponibles (1).

Les participants ont examiné un certain nombre de processus idéals d'admission qui répondraient à la fois aux voeux des étudiants, à leurs compétences et aux besoins de la société. On a fait remarquer qu'il est difficile, dans quelque système que ce soit, de mesurer "l'intensité" de la préférence indiquée par le candidat. Une solution possible consisterait à donner à chaque candidat un "budget", de 100 points par exemple, qu'il répartirait entre les différentes facultés, selon "l'intensité" de ses préférences. Mais cette formule à un inconvénient : le candidat sera tenté de deviner le poids qui sera attribué, d'une part, à ses préférences et, d'autre part, à ses qualifications, et aussi de connaître les préférences indiquées par les autres concurrents, s'il veut maximaliser la double probabilité d'être inscrit dans la faculté de son choix et même d'être admis à entrer dans une université quelle qu'elle soit. En outre, il est difficile d'attribuer des poids relatifs à "l'intensité" des préférences des étudiants et à leurs résultats scolaires antérieurs. Comment, par exemple, peut-on choisir, pour accorder une place dans une faculté de chimie, entre un étudiant qui lui a attribué les 100 points, mais a eu une mauvaise note en chimie à l'examen de fin d'études secondaires, et un candidat qui a obtenu une très bonne note à cet examen, mais n'a alloué que 51 points à la faculté considérée. Il est évidemment possible de recourir à un système binaire éliminant les candidats n'ayant pas atteint une note déterminée à l'examen et répartissant selon "l'intensité" de leurs préférences ceux qui ont obtenu la note nécessaire.

On a également souligné qu'avec une procédure d'admission centralisée de ce genre, quelques universités très renommées auront encore davantage de chances d'avoir les meilleurs sujets. Il appartient aux responsables de la politique d'enseignement de décider si cela est souhaitable ou non. Le planificateur peut simplement leur signaler cette éventualité et en déterminer les conditions.

Le Professeur Ackoff a mentionné le cas d'une université aux Etats-Unis qui a admis, au hasard, un certain nombre de candidats primitivement évincés. En comparant ultérieurement les résultats obtenus par ces étudiants et par ceux qui avaient été choisis selon les procédés orthodoxes, on n'a pu relever aucune différence sensible entre les deux groupes, si bien que la procédure d'admission fut modifiée. L'orateur se demande s'il ne serait pas possible d'introduire, dans les procédures automatisées du type suédois, un mécanisme

---

(1) Voir l'article de Armitage et Smith dans "Modèles mathématiques dans la planification de l'éducation", OCDE, 1967.

d'adaptation qui permettrait, en définitive, d'optimaliser le taux de réussite ou toute autre fonction objective.

Mr. Nygaard a formulé une suggestion qui donna naissance à un débat intéressant, à savoir que le premier passage sur ordinateur de la répartition des places devrait n'être qu'une étape. Les candidats recevraient, avec la réponse provisoirement donnée à leur demande, des renseignements globaux sur la pondération - notes aux examens et préférences - qui détermine l'entrée dans telle ou telle faculté. Ils pourraient alors poser leur candidature en connaissance de cause; après quoi, on effectuerait la répartition définitive. Cette formule coûterait évidemment un peu plus cher, mais le choix d'une université est l'une des décisions les plus importantes de l'existence et mérite d'être fondée sur les meilleurs renseignements possibles.

M. Lions a fait observer qu'au Canada les universités se disputent souvent les sujets les plus doués; elles essaient donc d'accélérer les formalités d'admission, car les candidats acceptent souvent la première offre qui leur est faite. C'est pourquoi l'Université de Toronto fait passer les candidatures sur ordinateur le jour où les résultats de l'examen de la treizième classe sont donnés, de telle sorte que les élèves reçoivent bien souvent l'offre de l'université avant les résultats de l'examen.

De l'avis général, l'expérience suédoise est importante en raison de l'accroissement de la demande d'inscriptions à l'université dans de nombreux pays, et cela d'autant plus que l'on tend vers des procédures d'admission centralisées, soit au niveau national, soit entre groupes d'universités.

Emplois du temps

Le troisième grand thème de la réunion portait sur l'amélioration de l'utilisation des classes et des professeurs par l'automatisation des emplois du temps. Il devient, en effet, de plus en plus difficile d'élaborer un bon emploi du temps, étant donné que les écoles secondaires s'agrandissent, que l'on essaie d'offrir un plus large choix aux élèves et qu'il est nécessaire, avec l'expansion rapide des effectifs, d'utiliser au maximum les salles de classe existantes et le personnel enseignant disponible. Dans son document, Lions indique comment l'automatisation de l'emploi du temps est appliquée pour certaines écoles secondaires de la Province d'Ontario. Il signale que la simulation par ordinateur des méthodes manuelles d'élaboration offre des difficultés et que des techniques nouvelles sont nécessaires. Il conclut en disant que l'établissement rapide, économique d'emplois du temps uniformément satisfaisants permettra en définitive aux écoles de remanier plus fréquemment leurs horaires et d'améliorer leur administration.

Folkers étudie le problème dans un contexte plus général : son article indique les principes de l'élaboration d'un emploi du temps par ordinateur et les conséquences de cette automatisation sur l'administration du système d'enseignement dans son ensemble.

La discussion a porté sur des sujets très divers, allant des problèmes techniques de l'élaboration d'un emploi du temps jusqu'à la conception de l'enseignement qu'implique la notion même d'un emploi du temps. M. Lévine se demande si, en essayant de trouver une solution "générale" au problème, on ne néglige pas l'information la plus importante, à savoir l'emploi du temps de l'année précédente. Somme toute, le directeur de l'école prend à chaque fois l'emploi du temps précédent qui a "marché" plus ou moins bien et essaie de l'adapter aux conditions nouvelles, qu'il s'agisse des professeurs, des salles ou des élèves. Peut-être les spécialistes de l'automatisation de l'emploi du temps se créent-ils des difficultés superflues en rejetant cette méthode. M. Folkers a fait remarquer que cette

méthode est appliquée dans le cas d'un système d'inputs suffisamment bien définis, précisément parce qu'un tel système peut comporter des données de l'emploi du temps de l'année précédente et fournir, à tout moment, des variantes tenant compte de modifications, quelles qu'elles soient.

Elargissant le débat, les participants ont examiné les solutions des problèmes d'emploi du temps dans le contexte de la planification de l'éducation. On a fait valoir que les emplois du temps pouvaient être conçus en vue de l'utilisation maximale des salles de classe et des professeurs (dans les limites des contraintes de toute nature), le problème devenant alors beaucoup plus intéressant pour les planificateurs et les administrations scolaires. Un meilleur emploi du temps donnerait la possibilité d'avoir plus d'élèves dans les écoles existantes et avec le personnel enseignant disponible; d'autre part, pour les constructions nouvelles, un emploi du temps expérimental élaboré au stade du plan des bâtiments devrait permettre de répartir plus rationnellement l'espace réservé à l'enseignement, compte tenu des objectifs du nouvel établissement. Mention a été faite des recherches effectuées en ce sens aux Etats-Unis; on a notamment cité l'exemple bien connu du "Merrimac Junior College" à St. Louis, dont le coût à été sensiblement réduit grâce aux nombreuses expériences de simulation d'emploi du temps faites avant d'entreprendre la construction.

Cependant, si l'élaboration d'emplois du temps par ordinateur donne d'assez bons résultats quand l'unité de base est une classe - ce qui implique peu de changements d'une période à l'autre - la méthode est inapplicable quand l'unité de base est l'élève. C'est pourquoi M. Abt s'est élevé contre la notion même d'un emploi du temps; à son avis, ce n'est pas là qu'est le problème. Si l'on adopte l'idée, de plus en plus répandue, que l'intérêt et la motivation jouent le rôle essentiel dans l'acquisition des connaissances et si l'on admet que des enfants différents ont des intérêts, des motivations et des courbes d'acquisition du savoir très différents, l'important est de créer les conditions dans lesquelles chaque enfant pourra suivre sa propre voie à son propre rythme. Il est inexact que les enfants ne veulent pas apprendre; s'ils en donnent parfois l'impression, c'est parce que l'enseignement est mal conçu. M. Abt persiste à croire qu'il faut complètement repenser l'organisation matérielle de l'école; au lieu de salles de classe standardisées, il faut des cabines d'études individuelles, des "box d'enseignement" où chaque élève peut rencontrer un professeur, des locaux pour des activités en petits groupes (séminaires) et enfin des salles de conférence qui peuvent, si besoin est, accueillir de très nombreux élèves. Les bibliothèques doivent solliciter l'imagination de l'enfant au lieu de lui offrir des rangées rébarbatives de livres bien alignés.

M. Lions tout en reconnaissant que c'est peut-être là l'idéal, fait remarquer que la formule proposée par M. Abt exige des ressources extravagantes, car elle nécessite presque un professeur par élève. Au Canada, il est beaucoup question de ces emplois du temps individuels, mais en même temps on manque d'enseignants. Certaines propositions formulées auraient impliqué un accroissement de 25 à 30 % de l'effectif du corps enseignant. Etant donné la pénurie de professeurs, ceux qui seraient recrutés en supplément (en admettant qu'on en trouve) seraient probablement d'un niveau inférieur. Il est indispensable de prendre tous ces types de dépenses en ligne de compte, lorsqu'on discute de l'amélioration du système scolaire. Pour M. Folkers, on aurait tort de penser que les solutions proposées pour les emplois du temps sont fondées sur la notion de "la classe". Il pense qu'il doit être possible d'obtenir des renseignements statistiques sur la probabilité que les élèves s'intéressent aux activités spécifiques que l'école est en mesure de leur offrir, et, à partir de ces statistiques, d'élaborer des emplois du temps qui n'aient rien à voir avec des considérations philosophiques.

En tout état de cause, les emplois du temps établis par ordinateur s'adapteront probablement mieux au type de situation exposé par M. Abt, que ceux qui sont construits par des méthodes manuelles.

Répartition des ressources et modèles coût/efficacité

Dans son document, Abt décrit un modèle coût/efficacité de l'ensemble du système d'enseignement, destiné à évaluer les effets, et les coûts correspondants, qu'ont sur l'école, l'élève et la collectivité les programmes pour enfants défavorisés prévus par la loi de 1965 sur l'enseignement élémentaire et secondaire aux Etats-Unis. Certains participants se demandent si la globalité même du modèle n'en limite pas l'utilisation possible. Ils font observer qu'en raison de sa complexité, l'analyse de sensibilité qu'il implique est extrêmement difficile, car il y a trop de variables qui influent les unes sur les autres; si l'on ajoute à cela que les données d'input sont en bonne partie "impressionistes", l'opération paraît très hasardeuse. D'autres pensent, en revanche, que ce modèle est un instrument très utile, qui indique les domaines de recherche empirique prioritaires. M. Hyland se demande notamment en raison des fins auxquelles il répond, si le modèle ne pourrait permettre de rationaliser les politiques en vigueur.

M. Stoller estime que l'"Office of Education" devrait délivrer M. Abt de tout ou partie de la charge que représente ce modèle "monstre". Cet Office est essentiellement chargé de pondérer l'impondérable et de chercher des réponses à des problèmes pour lesquels la majorité des données fondamentales nécessaires à une analyse scientifique n'existent précisément pas. On peut considérer que c'est l'équivalent en sociologie des études de transport par avions à réaction qui ont été faites il y a quelques années, lorsque les appareils n'étaient encore que des esquisses sur la planche à dessin. On a fait alors toutes sortes d'hypothèses sur les données d'input et les relations entre les variables, en sachant qu'il s'agissait de simples hypothèses et d'un exercice de rationalisation face à un certain nombre d'incertitudes. Il en est de même du modèle Abt dont une bonne partie des hypothèses doivent être vérifiées empiriquement, avant de pouvoir servir de base à une répartition des ressources. Il faut y voir un instrument de la stratégie à long terme de "l'Office of Education" et non un moyen spécifiquement applicable à tel ou tel problème actuel. Les données de base nécessaires pour ce modèle et pour toute évaluation rationnelle des activités du système scolaire aux Etats-Unis doivent incontestablement être améliorées, mais c'est là une tâche de très longue haleine. Il existe à "l'Office of Education" un programme visant à la création d'un Système général d'information : mais c'est une entreprise qui demande du temps.

Planification de l'implantation des établissements scolaires

Le document de Lachène expose l'expérience d'implantation planifiée des écoles, en vue d'utiliser au mieux les installations existantes et de réduire au minimum le coût des constructions nouvelles, qui a été tentée dans une région de la France à la suite de la récente réforme de l'enseignement secondaire. Il analyse les coûts afférents aux différents types d'établissements qu'implique la réforme et, à partir de prévisions de la population scolaire, par circonscription administrative, donne la localisation, par type d'écoles, qui permettrait de répondre, au moindre coût, aux objectifs de la réforme. Cette étude a donné lieu à une discussion intéressante sur l'importance des contacts entre les

planificateurs et responsables de la politique qui demandent des études de recherche opérationnelle, et les techniciens qui effectuent ces études. On a examiné le rôle du technicien dans la planification (processus d'élaboration de la politique). Certains représentants ont fait valoir qu'en construisant ses modèles et en procédant à ses analyses, il acquiert des connaissances spéciales permettant même de formuler des jugements et qu'il doit au moins les communiquer au responsable de la politique. Cependant, l'ensemble des participants a estimé que, du moins en l'état actuel des connaissances, les techniques mathématiques donnent la possibilité d'arriver à une pensée plus rigoureuse et d'expliciter des hypothèses, mais qu'il ne faut pas escompter que des idées étincelantes vont jaillir des modèles eux-mêmes. La situation peut évoluer à mesure que des données permettront de construire des modèles plus complexes basés sur des interrelations connues entre de nombreuses variables.

La réunion s'est terminée par un débat général sur l'analyse des systèmes et la recherche opérationnelle au sein des divers ministères de l'Education, débat introduit par David Heigham (U.K. Department of Education and Science) et David Stoller (U.S. Office of Education). Ce débat a donné aux participants l'occasion de revenir sur un grand nombre des sujets qui avaient été discutés au cours des deux journées précédentes, et a été marqué par un commentaire important du Président de la réunion, Russell Ackoff, qui fait l'objet d'un chapitre spécial de cet ouvrage.

PART TWO

DEUXIEME PARTIE

SUMMARY

THE APPLICATION OF OPERATIONAL RESEARCH TO EDUCATIONAL PLANNING

The paper opens with a section on operational research and its relations and usefulness to planning. The author feels that O.R. has many similarities to economic and econometric analysis; and summarises his position thus :

(1) Operational research deals with certain extra economic problems;

(2) A number of "purely economic" themes remains;

(3) There is a wide area in which we can speak indiscriminately of an operational research approach or an economic approach. Does an economic balance sheet based on a mathematically formulated criterion, whether certain or probabilistic, come under the heading of economics or operational research ?

Subsequently the author considers the conceptual problems involved in educational planning and concludes that a great deal of work is necessary on the formulation of concepts and much experimentation, so that problems of educational planning, susceptible to treatment by the tools of operational research can be isolated. It may legitimately be asked whether the mathematical instruments at present available are not appreciably more elaborate than the concepts being used by educational planners and whether these mathematical instruments do not require a mass of empirical data that does not at present exist.

An example : The Preparation of a School Map : The second part of the paper, from Section III onwards, deals with a practical example of operational research in educational planning - the preparation of a school map in connection with a reform of secondary education is currently being implemented in France. All pupils in the first cycle of secondary education will gradually be grouped into two types of school - Collège d'enseignement secondaire (Secondary Schools : C.E.S.) and Collèges d'enseignement général (General Schools: C.E.G.). The C.E.S. provide a "classical" education as well as a "modern", whereas the C.E.G. provide courses in "modern studies" only. The combined effect of the reform and the considerable rise in numbers of children in this age group, for whom full-time attendance is compulsory, led the authorities to make a thorough review of the location of schools. The present study is the result of an investigation to find methods for determining the optimum location pattern of schools in the "Département de l'Eure".

The aim is to provide educational facilities for the entire age groups with the exception of maladjusted children and pupils in private schools. In particular the study sought to locate the C.E.S. and C.E.G. that were to be built in the "Département de l'Eure" between 1965 and 1970.

As a first step the number of pupils to be catered for was forecast. They had to be allocated either to C.E.S. or C.E.G., the main characteristics of which are shown in Table 1.

The cost items considered were, cost of land; building costs; equipment; constituting initial capital expenditure and staff remuneration, current supplies and services and building maintenance costs comprising annual recurrent expenditure. The transport costs associated with different location patterns were also considered. Certain assumptions about the geographical location of pupils were made; essentially that they were concentrated in the centre of communes.

Cost data used in the study are set out in Table 2, the principal symbols used in the mathematical formulation in Table 3 and the mathematical formulation itself is set out in Section III.2.

The following section III.3 considers the uses of the model which is essentially a means of evaluating each possible school location on the basis of four cost items:

C.E.G. costs
C.E.S. costs
Boarding costs
School bus costs

The balance between the various factors is considered below :

(a) C.E.G.-C.E.S. balance in student numbers. Here the essential is that all pupils must be enrolled in one or the other. There is thus a direct negative relationship between numbers in each. Since both investment and operating costs of C.E.S. are higher than C.E.G. this would mean in the absence of other constraints that no further C.E.S. should be built. However, classical education is provided only in the C.E.S. so the number of pupils wishing to take classical courses, and certain complementarities between classical and modern studies puts the lower limit on the number of C.E.G. to be provided.

(b) Balance between boarding costs and transport costs. Here it was found that transport costs were always cheaper so long as the average length of collection routes per bus is less than 434 kilometres. Since the average length of routes is unlikely to be more than 40 kilometres this leads to the general rule that in general the number of boarders should be reduced to a minimum and transport rather than board provided: only a small number of classical pupils would be boarders.

(c) Balance between school buses and number of schools. The balance here is not obvious and is calculated empirically.

Summary

On the basis of these criteria an optimal location was found by the following steps :

1. The number of C.E.S. was reduced to a minimum determined by the number of classical specialists.
2. The number of C.E.G. was increased to examine whether the increase in investment costs is offset by the decline in transport costs.
3. The location of some C.E.G. was changed so as to find the optimal location pattern which minimises the total of boarding costs plus transport costs.

The final section of the report, sections III.4 and seq., is devoted to the application of these principles in the "Département de l'Eure". The results of the calculation are contained in the tables and maps.

L'EMPLOI DE LA RECHERCHE OPERATIONNELLE DANS LE DOMAINE DE LA PLANIFICATION DE L'EDUCATION

par René Lachène*

I. Recherche opérationnelle et planification

Nous éprouvons quelque scrupule à traiter de cette question. Il se trouve en effet que notre activité s'exerce actuellement dans une "Société d'Economie et de Mathématiques Appliquées" au sein d'un "Département d'Economie Générale et Sociale" qui, parmi d'autres sujets, s'intéresse à l'éducation. Si l'on donnait une interprétation restrictive de ces termes, nous pourrions à l'extrême rigueur traiter de la planification de l'éducation vue par un économiste, mais nous ne disposerions d'aucune compétence pour traiter de recherche opérationnelle. Nous ne sommes d'ailleurs même pas membre de l'Association française de Recherche opérationnelle. A moins que la recherche opérationnelle n'ait quelque chose à voir avec l'économie. Qu'est-ce donc que la recherche opérationnelle ? Qu'est-ce que la planification de l'éducation ? La recherche opérationnelle est-elle susceptible d'intervenir dans la planification de l'éducation ? Nous examinerons sommairement ci-après ces questions. Est-il utile de préciser que nous n'entendons point épuiser le sujet et que, en définitive, nous avons plus de questions à poser que des réponses à apporter.

I-1. La recherche opérationnelle (1)

Une définition célèbre de la R.O. a été donnée aux Etats-Unis : il s'agirait de l'ensemble des activités des membres de la "Operations Research Society of America"(ORSA). Pour intéressante et pratique que soit cette définition, elle ne satisfait pas toute la curiosité de certains esprits, et il peut être utile d'y revenir.

Il semble possible de distinguer diverses conceptions de la R.O.

(a) Dans une première conception, la R.O. serait essentiellement la mise en oeuvre, au profit de la gestion des organisations, d'un ensemble de techniques mathématiques défini de manière assez précise : programmation, algèbre moderne, calcul

---

(1) Dans la suite du texte, pour alléger l'écriture, nous utiliserons le sigle R.O.

* Le présent exposé comprend trois parties. La première partie est consacrée à des réflexions générales sur la recherche opérationnelle et la planification. La deuxième partie, aux points d'application de la recherche opérationnelle dans la planification de l'éducation. Dans la troisième partie, l'on expose succintement une étude pratique effectuée par la SEMA en 1964, à la demande du Ministère français de l'Education nationale, de la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action régionale tendant à déterminer dans le département de l'Eure une implantation rationnelle de deux catégories d'établissements scolaires : les "Collèges d'enseignement secondaire" ou C.E.S., et les "Collèges d'enseignement général" ou C.E.G. Les parties sont largement indépendantes. Le lecteur qui jugerait sans intérêt les développements des deux premières parties, pourrait sans inconvénient aborder directement la troisième.

des probabilités et statistiques ... En première approximation, l'on peut dire que cette conception semble prévaloir en France.

(b) Dans une deuxième conception, la R.O. constituerait en un effort de quantification des informations, puis de rationalisation de décisions qui, dans le passé, étaient considérées comme relevant uniquement de jugements intuitifs et subjectifs, basés sur l'expérience des décideurs.

(c) Dans une troisième conception, la R.O. serait liée à l'idée d'optimisation : il y aurait R.O. dès qu'il serait possible de considérer une fonction dont les valeurs extrêmes correspondraient à une situation jugée optimale, selon un certain critère et sous certaines contraintes. La R.O. fournirait alors les techniques de recherche des valeurs extrêmes, selon la structure de la fonction. Une telle conception de la R.O. a une parenté assez étroite avec l'idée d'utilisation efficace des ressources, chère aux économistes.

(d) Dans une quatrième conception, la R.O. consisterait à intégrer lors de la préparation des décisions, le plus grand nombre possible de points de vue, et à analyser leurs interrelations. La R.O. se caractèrise alors notamment par le recours à des spécialistes de disciplines fort diverses, travaillant dans des équipes pluridisciplinaires. Cette conception semble fréquente dans les pays anglo-saxons. Elle a notamment été pratiquée pendant la deuxième guerre mondiale. La R.O. serait alors principalement un effort de synthèse, qui tenterait de saisir et de regrouper, face aux décisions à prendre, les résultats d'analyses effectuées dans des optiques et des directions très variées, généralement peu commentées entre elles. Il n'est peut-être pas inutile de noter au passage que, dans les applications du temps de paix, il est plus difficile de mettre en oeuvre une telle conception qu'en temps de guerre. D'une part, l'on dispose en temps de paix de moins de moyens de contrainte qu'en temps de guerre, pour faire travailler ensemble des spécialistes différents par leur formation, leur tournure d'esprit et leurs moyens d'expression. D'autre part, le coût d'équipes pluridisciplinaires est élevé, et il n'est pas évident à priori que le supplément de coût est toujours compensé par un supplément d'efficacité. Si une question est attaquée par dix experts de compétences différentes, il est probable qu'en moyenne le résultat sera supérieur à celui obtenu par un expert d'une compétence donnée travaillant isolément, mais il est certain que le coût sera dix fois supérieur, sinon davantage, compte tenu des coûts de coordination. Or l'expérience montre que les consommateurs de R.O. ne sont nullement insensibles au coût de la R.O. En temps de guerre, les hommes mobilisés qui ne sont pas engagés au combat sont en tout état de cause disponibles; si l'armée en fait travailler quelques uns sur des problèmes de R.O., les dépenses militaires ne sont pas affectées, et tous les résultats obtenus le sont alors sans contre partie financière visible.

(e) Une cinquième conception pourrait être envisagée; elle consisterait à dire que la R.O. se préoccupe d'organisations complexes ordonnées à une certaine finalité, et qu'elle est l'ensemble des moyens intellectuels utilisés pour mettre en place, et faire fonctionner, l'organisation d'une manière satisfaisante et vérifier que ses résultats sont conformes aux objectifs poursuivis. La R.O. serait alors fort proche de l'analyse de systèmes.

Il serait sans doute possible, soit de critiquer les diverses conceptions de la R.O. que nous avons énumérées, en montrant qu'elles ne sont pas totalement différentes l'une de l'autre, soit de dégager d'autres conceptions. Notre propos était d'attirer l'attention sur les interprétations extrêmement diverses possibles pour une expression maintenant très répandue, et sur les risques graves d'incompréhension qui en résultent.

Il pourrait être utile - nous soumettons cette suggestion à la critique du lecteur - de distinguer :

- l'"esprit" de la R.O. : les quatre dernières conceptions de la R.O. pourraient être caractérisées en disant qu'elles sont plus une façon d'attaquer des questions de manière rationnelle ou "scientifique" qu'un catalogue de techniques.
- les "techniques" de la R.O. que nous avons brièvement mentionnées à propos de la première conception de la R.O.

Il se pourrait en effet - nous y reviendrons - que l'"esprit" de la R.O. puisse être utile, même lorsque les "techniques" de la R.O. ne sont pas susceptibles d'application immédiate.

I-2. Recherche opérationnelle et disciplines connexes

Il paraît difficile de traiter de R.O. sans faire allusion à des disciplines connexes. L'on a assisté, en effet, ces dernières années à une prolifération assez surprenante d'expressions qui, selon toute vraisemblance, désignent des réalités assez voisines. Considérons la liste d'expressions suivante dans laquelle nous avons parfois juxtaposé une expression française et sa traduction anglaise littérale la plus proche, car nous ne sommes pas certains que la signification soit la même dans les deux langues :

- Administration (au sens de Fayol)
- Gestion
- Organisation (au sens de l'organisation du travail)
- Science économique
- Analyse économique
- Economie appliquée (ou approche économique)
- Cost benefit analysis
- Econométrie
- Méthématiques et statistiques appliquées
- Recherche opérationnelle
- Analyse de systèmes
- System analysis
- Théorie des organisations
- Management science
- Cybernétique
- Traitement de l'information
- Data processing
- Informatique
- Théorie du comportement
- Programmation (à l'exclusion de la formulation d'instructions pour ordinateurs)
- Théorie de la décision
- Sciences de la décision
- Planification

Il nous serait très agréable de disposer, pour chaque élément de cette liste - qui pourrait sans doute être allongée - d'une définition satisfaisante et nous serions extrêmement reconnaissant au lecteur qui pourrait nous fournir une référence exhaustive sur le sujet.

Nous pressentons que si l'on était en mesure d'associer un ensemble à chaque expression, l'intersection de ces ensembles serait très importante par rapport aux parties disjointes.

Comment expliquer ce foisonnement d'expressions ? L'on peut penser à un bouillonnement des idées ces dernières années, à un dialogue insuffisant entre scientifiques de disciplines différentes, à un effort de "diversification et renouvellement du produit" de la part des producteurs.

Convenons un instant d'appeler "matière grise" le "produit" des personnes se consacrant aux activités énoncées ci-dessus. Les spécialistes de la promotion des ventes ne pourraient-ils pas interpréter la diversité du vocabulaire, comme un effort classique des "producteurs de matière grise" pour développer leurs "ventes", en proposant aux "acheteurs de matière grise" une gamme très diversifiée de "conditionnements différents" du produit à une date donnée, et en lançant sur le "marché" un "produit nouveau" de temps à autre, par adjonction d'une expression nouvelle à celles déjà en usage ? Qu'elle que soit l'interprétation retenue, il semble qu'un effort de clarification du vocabulaire serait utile; une instance internationale telle que l'OCDE pourrait être un lieu privilégié pour un tel effort de clarification.

Nous tenterons de donner des indications sommaires sur les similitudes et différences entre R.O. et approche économique : il semble que "l'esprit de la R.O." soit très voisin de celui de l'approche économique; l'on pourrait dire qu'à une date donnée après la deuxième guerre mondiale, et sur certains thèmes l'esprit de la R.O. a représenté une généralisation et/ou un perfectionnement de l'approche économique. Par certains aspects, la R.O. s'est montrée plus audacieuse en n'hésitant pas à aborder des thèmes tels que les opérations militaires, et plus généralement les activités telle l'éducation traditionnellement contrôlée par l'Etat dans les sociétés modernes, alors que l'économiste considérait volontiers autrefois de telles activités comme "exogènes" au système économique. Par d'autres aspects, la R.O. est moins ambitieuse, s'agissant notamment d'optimum collectif, de croissance, de formation et de distribution de la valeur. Il est vrai qu'il s'agit là de thèmes centraux de l'économie, et le chercheur opérationnel devient économiste s'il les aborde. Il est incontestable d'autre part, que les "techniques de la R.O." ont fourni des outils plus perfectionnés pour la solution de certains problèmes, et qu'il en résulte aussi un perfectionnement des concepts.

Nous estimerions volontiers qu'actuellement :

- la R.O. traite de certains problèmes "extra-économiques",
- il subsiste un certain nombre de thèmes "purement économiques",
- il existe un vaste domaine où l'on peut indifféremment parler de R.O. ou d'approche économique. Un bilan économique recourant à un critère formulé mathématiquement, que ce soit de manière certaine ou probabiliste, est-il de l'économie ou de la R.O. ? Il est sans doute vain d'en discuter longuement, mais il est peut-être important de prendre conscience de ce que divers spécialistes, parfois, parlent sans le savoir ou sans le dire la même prose.

I-3. La planification

La littérature sur la planification est considérable. Il est sûrement prétentieux de chercher à la résumer, à fiortiori d'espérer y ajouter quelque chose, en peu de lignes.

Historiquement, au niveau du système économique, on peut considérer que la planification est née en réaction contre "l'anarchie" du système libéral (insuffisante coordination entre les décisions des agents), et "l'immoralité" du même système. Un critère comme la maximisation du profit était interprété comme néfaste sur le plan sociologique. Les idées de centralisation et de contrainte, ou au moins de réduction de liberté, semblaient inséparables du concept de planification. La planification semblait être le moyen d'aboutir à des objectifs décidés de manière centrale, et proposés à une population. A l'expérience, il apparut que, même si l'on disposait de moyens de contrainte relativement importants, il n'était pas forcément possible d'atteindre tous les objectifs que l'on s'était proposés. Des doutes s'élevèrent également sur le point de savoir si une forme de planification relativement centralisée et autoritaire était dans tous les cas le mode de gestion le plus efficace. On sait que des conclusions pratiques d'une grande importance ont été tirées de ces constatations.

A l'inverse, dans des systèmes restés en théorie fidèles aux principes libéraux, des éléments de centralisation et de coordination des décisions étaient plus ou moins spontanément mis en place. Des organisations, à commencer par les entreprises, appliquaient des procédures susceptibles de faciliter le contrôle de leur évolution. L'idée d'évolution, imposée par les faits, obligeait en effet à repenser les méthodes traditionnelles de gestion des organisations. Si l'on évolue, l'on est inéluctablement conduit à s'interroger sur les objectifs que l'on poursuit, c'est-à-dire la finalité que l'on adopte. La réflexion sur les objectifs s'impose; elle est loin d'être suffisante.

Le concept de planification auquel on aboutit à partir de points de départ extrêmement éloignés, pourrait englober les éléments suivants :

(a) Le système économique est composé de sous-systèmes ou organisations complexes; chacune de ces organisations possède une certaine fonction ou finalité à l'intérieur de l'ensemble, à laquelle elle est ordonnée. Il convient de s'interroger en permanence sur les objectifs de chaque système et sur la cohérence de ces objectifs. Tous les objectifs cohérents ne sont pas accessibles à un système donné dans un délai donné.

(b) Tout système possède une structure interne dont il n'est pas possible de faire abstraction. La cohérence de la structure interne du système est une condition nécessaire à un fonctionnement satisfaisant. Peu importe que la cohérence soit imposée par des raisons physiques, psychologiques, sociologiques ou économiques.

(c) A l'intérieur d'un système existent des interrelations ou flux et des mécanismes qu'il n'est pas non plus possible d'éluder. Ces interrelations sont parfois mal connues. C'est l'objet des sciences sociales de procéder à l'identification, et à la description de ces interrelations.

(d) Entre le système et les autres systèmes existent également des relations inéluctables. Ces relations sont fréquemment plus mal connues encore que les relations internes au système. Néanmoins, il convient de prendre en compte ces relations entre systèmes.

(e) Quel que soit le système, il convient de tenir compte de considérations d'efficacité, même si d'autres critères ou contraintes sont aussi adoptés. Le critère d'efficacité est imposé par la limitation des ressources disponibles à une date donnée; les meilleures intentions viennent buter sur le mur de la limitation des ressources.

(f) Si l'on propose à un système des objectifs cohérents et accessibles, il convient de mettre en place aussi bien pour assurer la cohérence entre les objectifs et les moyens, que pour satisfaire un critère d'efficacité, une procédure d'observation, de contrôle et de réorientation éventuelle. Cette procédure est constituée par l'ensemble des règles de gestion du système.

La question se pose alors de savoir si, lorsque nous parlons de planification de l'éducation, nous retenons tous les éléments énoncés ci-dessus. C'est ce que nous ferons ci-après.

L'on peut également se demander si une telle conception est entièrement nouvelle. Nous ne le pensons pas, et tenterons de le montrer en rapprochant la planification de l'administration selon Fayol.

I-4. Planification et administration selon Fayol

Selon Fayol, administrer c'est "prévoir, organiser, commander, coordonner, contrôler".

Prévoir pose d'emblée le principe de l'évolution, donc des objectifs et de leur cohérence.

Organiser implique la reconnaissance d'une structure, de la nécessaire cohérence interne de cette structure et de la cohérence entre structure interne et objectif.

Commander fait apparaître l'idée de volonté. Pour qu'un système évolue, il faut que "quelqu'un" responsable lui donne l'impulsion nécessaire.

Coordonner pourrait être synonyme de reconnaître l'existence de relations de cohérence internes ou externes relatives aux flux.

Contrôler est synonyme de mettre en place une procédure d'observation, de contrôle et de réorientation.

Si le souci d'efficacité n'est pas explicite, il n'est guère contestable qu'il est sous-jacent chez Fayol.

Ainsi, si l'on admettait notre interprétation, nous en serions revenus après de longs détours, et au vocabulaire près, à une conception de la gestion des organisations à peu près identique à celle qu'avait définie Fayol voici environ un siècle. Sans doute disposons nous de méthodes et de moyens matériels (calcul), très supérieurs pour expliciter et exploiter les relations de cohérence de structure ou entre flux, et les critères retenus, mais la démarche intellectuelle serait sensiblement identique.

I-5. Préoccupations des responsables et problèmes

Il nous paraît utile de procéder à cette distinction, car elle est de nature à faciliter le dialogue entre les responsables d'un système "planifié" comme nous l'avons entendu, consommateurs éventuels de la R.O., et les spécialistes producteurs de la R.O. Les responsables ont en permanence la préoccupation de la bonne "planification" et du bon fonctionnement du système. Ces préoccupations, nous l'avons vu, sont multiples. En l'état où nous les

avons formulées, elles ne sont immédiatement traduisibles en "problèmes", au sens où l'entend volontiers un producteur de la R.O. Pour aboutir à un ou plusieurs problèmes, il convient soit de "figer" par exemple à une date donnée et pour un horizon donné une préoccupation - effectuer une projection à 5 ans de l'état probable d'un système, peut être considéré comme un "problème" s'insérant dans la préoccupation plus générale de prévision de l'évolution du système - soit de "simplifier" plus ou moins considérablement une préoccupation; ainsi, si une relation est mal connue, on admettra néanmoins de la représenter par telle expression analytique, qui permettra au producteur de R.O. de poser et peut-être de résoudre son problème. Le responsable conservera néanmoins quelque préoccupation quant à la nature véritable de la résolution.

Il nous semble que la dialectique préoccupations-problèmes peut se résumer de la manière suivante :

- Les préoccupations sont permanentes, tandis que les problèmes sont posés et résolus à une date donnée ou pendant une courte période. Les inconvénients qui en résultent peuvent être sensiblement atténués si, quand le temps s'écoule, l'on pose et résoud de nouveau le problème.
- A une date donnée, toutes les préoccupations des responsables ne peuvent pas forcément être traduites par des problèmes susceptibles de traitement par des techniques de R.O. ou autres. Rien ne permet d'affirmer à priori que les préoccupations traduisibles en problèmes sont plus importantes que les autres. Il en résulte qu'il ne faut pas négliger l'effort de réflexion sur les préoccupations non traduisibles en problèmes. Là où les "techniques de la R.O." s'avèrent au moins provisoirement impuissantes, "l'esprit de la R.O." peut permettre d'apporter une contribution extrêmement précieuse au fonctionnement d'un système.
- Lorsqu'une préoccupation est traduite en un ou plusieurs problèmes, il en résulte fréquemment une déperdition. Il convient alors de toujours exploiter les solutions des problèmes avec circonspection, au moins pendant une première période.
- La solution des problèmes devrait normalement rejaillir sur les préoccupations. Elle devrait réduire ou supprimer certaines préoccupations - en particulier toutes celles qui ne sont qu'une affaire de calcul - mais aussi en faire naître d'autres -. Il peut apparaître que des préoccupations n'étaient en fait pas fondées.

I-6. Conclusion

Pour traiter de l'emploi de la R.O. dans le domaine de la planification de l'éducation, sans courir le risque d'engendrer de graves confusions, il nous est apparu nécessaire de préciser quelque peu le sens des mots utilisés. La tâche est malaisée; en effet :

- L'on peut envisager diverses conceptions de la R.O.
- Il existe de nombreuses disciplines connexes à la R.O.; entre ces disciplines et la R.O., le partage des domaines n'est nullement évident; il n'est sans doute pas toujours possible.
- L'on peut envisager plusieurs conceptions de la planification; il convient de préciser au moins approximativement celle que l'on retient.

A long terme, nous avons suggéré une modification du vocabulaire, l'effort à entreprendre pourrait par exemple se situer dans le cadre d'une organisation internationale.

A court terme, nous avons suggéré de distinguer "les techniques de la R.O." relativement précises et essentiellement mathématiques, correspondant en première approximation à une conception, et "l'esprit de la R.O." englobant sensiblement les autres conceptions de la R.O. La R.O. est-elle un catalogue de techniques ou un type de démarche intellectuelle ? A cette question, nous avons apporté une réponse nuancée, estimant qu'en fait les deux aspects se rencontrent en pratique et qu'il est utile de les retenir tous les deux.

Nous avons retenu l'idée que la planification était l'ensemble des procédures intellectuelles et pratiques (moyens, démarches), susceptibles pour un système évolutif ordonné à une fonction ou finalité, de déterminer des objectifs cohérents entre eux et accessibles, de déterminer les relations de cohérence portant soit sur la structure du système en relation avec l'objectif, soit sur les flux internes au système ou s'écoulant entre le système et le reste de l'économie, de fixer les règles de gestion conduisant à l'objectif en satisfaisant au critère d'efficacité des ressources. Dans une telle conception "planifier" est alors à peu près synonyme de "gérer un système avec l'esprit de la R.O. et le cas échéant en recourant aux techniques de la R.O.". Si une telle conception était admise, le titre de notre exposé s'en trouverait considérablement raccourci; ne deviendrait-il pas : "Comment planifier l'éducation ?" et nous répondrions volontiers : en utilisant tous les moyens utiles ("esprit de la R.O.") et s'il y a lieu certaines techniques de R.O. Nous avons avancé l'idée qu'une telle conception apparemment très "moderne" était au fond, au vocabulaire près, pratiquement identique à celle qu'exposait Fayol en parlant d'"administrer". La modestie ne messied pas plus aux scientifiques qu'aux autres. Quel que soit le développement des connaissances des moyens de formulation, d'analyse et de calcul, les principes d'une saine démarche de la pensée confrontée à des situations complexes, pourraient être à peu près constants dans le temps. Mais chaque génération n'éprouve-t-elle pas le besoin de redécouvrir en l'habillant autrement ce que ses devancières avaient déjà découvert, mais qu'elle avait initialement rejeté par souci de "modernisme".

La gestion satisfaisante d'une organisation complexe, d'un système, entraîne chez les responsables un certain nombre de préoccupations. Il nous a paru utile de distinguer ces préoccupations des "problèmes", au sens où l'entendent les spécialistes de la R.O. L'ensemble des problèmes n'épuise pas l'ensemble des préoccupations; certaines préoccupations ne sont pas traduisibles en problèmes; d'autres peuvent être vaines, et la solution de problèmes peut le mettre en évidence. Pour que la R.O. soit efficace, il nous paraît fondamental qu'existe une dialectique entre préoccupations et problèmes, c'est-à-dire une compréhension profonde et un dialogue véritable entre consommateurs et producteurs de R.O. Les producteurs de la R.O. sont tout naturellement amoureux de leurs problèmes et de leur solution; ils doivent être conscients de ce que les préoccupations des responsables sont plus vastes et plus nuancées; les responsables sont peu soucieux d'aliéner leur liberté et leur pouvoir de décision au profit de procédures rigides représentées par un modèle. Ils doivent pourtant se souvenir que les procédures rigides peuvent singulièrement alléger une partie de leur tâche, et leur faire découvrir des relations ou des ordres de grandeur ignorés.

II. Recherche opérationnelle et planification de l'éducation

Il ne semble plus contesté actuellement que l'on puisse considérer l'ensemble des activités concourant à l'éducation comme un système, au sens où nous l'avons entendu précédemment, et qu'il y ait lieu de gérer ce système comme tout autre système. L'objectif général du système est de "produire" des valeurs culturelles contribuant à une plus grande

satisfaction de la population, et de donner à la population l'ensemble des connaissances techniques réclamées par le reste du système économique à la date et au lieu voulus. La planification de l'éducation a donc un sens, tout comme l'utilisation de la R.O., esprit ou techniques.

Dans la ligne de l'analyse précédente, nous tenterons de distinguer, au sein de la planification de l'éducation, des préoccupations et des problèmes que, le cas échéant, il est possible d'y associer. Au préalable, nous rappelerons quelques caractéristiques du système éducatif.

- Pendant longtemps, le critère "culturel" a été dominant dans le système éducatif; la "culture" était considérée comme un bien en soi; et l'on estimait que la valeur de ce bien était incommensurable avec une valeur économique. L'on récusait ainsi, pour apprécier le résultat du système d'éducation, tout système de prix. Cette position extrême n'est plus généralement admise aujourd'hui; on insiste sur le fait que le système éducatif doit fournir à l'économie les qualifications dont elle a besoin : Toutefois la question de la valeur de la culture désintéressée demeure posée, car la culture est aussi un bien de consommation finale, et il est aussi déraisonnable de lui attribuer une valeur économique nulle, qu'une valeur économique infinie, ce qui n'a pas de sens. Selon les valeurs respectivement accordées à la "culture" et au "savoir efficace", la structure du système éducatif pourra différer fondamentalement.
- Dans les sociétés actuelles, la consommation et la production d'éducation sont très généralement définies et contrôlées par l'Etat. Du point de vue de la planification, ceci provoque à la fois des avantages et des inconvénients; des avantages, par exemple pour la prévision de la demande qui résulte fréquemment de considérations réglementaires et démographiques; des inconvénients, lorsque des contraintes de service public conduisent le planificateur à s'écarter d'une gestion efficace.
- Il existe une grande difficulté à définir, et à plus forte raison à mesurer, de nombreux concepts, que l'on est pourtant conduit inéluctablement à prendre en compte dans la planification.

Qu'est-ce qu'une connaissance ? Qu'un programme de connaissances ? Qu'un niveau de connaissances ? Si l'on n'est même pas en mesure de définir de manière opératoire la connaissance, comment alors parler d'offre, de demande, de production, de consommation de connaissance ou d'éducation ? De manière classique, lorsque l'on bute sur de telles difficultés, l'on se rabat sur la "durée d'émission d'une source" pour la production, et sur la "durée d'exposition d'un récepteur" pour la consommation. La consommation d'éducation est ainsi réputée mesurée par le nombre d'heures de cours suivi par les élèves. Qui oserait soutenir que cette mesure est satisfaisante ? Mais aussi, qui serait en mesure de proposer rapidement une meilleure mesure ? Cette caractéristique du système éducatif - fragilité des concepts disponibles et imprécision des mesures - nous paraît d'une grande importance lorsque l'on parle d'utiliser les techniques de la R.O. Ne doit-il pas y avoir en effet une certaine relation entre la sophistication des modèles, la solidité des concepts et la précision des mesures ? Et ne convient-il pas, si l'un des trois termes est en retard sur les autres, de faire porter l'effort sur lui de manière prioritaire ?

Sans que cette énumération soit exhaustive, ou a fortiori la meilleure, il semble possible - conformément à un plan d'ailleurs classique - de définir six préoccupations principales du planificateur dans le domaine de l'éducation :

(a) Définition des objectifs du système (ou encore "marché des produits du système éducatif").

(b) Connaissance des produits du système et de leur valeur.

(c) Connaissance du "matériau" sur lequel travaille le système, c'est-à-dire de la population à éduquer.

(d) Connaissance des "techniques de production" permettant de passer du "matériau" au "produit fini". Efficacité et coût de ces techniques.

(e) Structure générale du système à mettre en place (mise en oeuvre des moyens).

(f) Appréciation de l'efficacité globale du système et de son degré d'adaptation - rentabilité de l'éducation -

Ces préoccupations ne sont nullement indépendantes entre elles.

A priori, l'on peut estimer que toutes ces préoccupations peuvent être abordées avec "l'esprit de la R.O.", mais il est parfois possible d'aller plus loin et certaines préoccupations se cristallisent ou se décantent en problèmes relevant des techniques de la R.O.

II-1. Définition des objectifs - Marche des produits du système éducatif

Nous avons donné précédemment une formulation générale de l'objectif du système éducatif. Pour les besoins de l'action, il est évidemment nécessaire de fournir des objectifs plus précis, par exemple sous la forme d'effectifs nécessaires par niveau de qualification à chaque date, et peut-être selon une distribution géographique. De la connaissance des "stocks de produits" nécessaire à une date donnée, il est possible de déduire celle des "flux" de personnes à former aux différentes dates. L'on rencontre donc des "problèmes" précis de prévision et de transformation de la prévision en "programme de production". Ces problèmes sont-ils des problèmes de R.O. ? Nous les considérerions plus volontiers comme des problèmes de prévision économique, même s'ils mettent en oeuvre des modèles mathématiques. Le caractère très fort des hypothèses qu'il est généralement nécessaire d'admettre pour résoudre de tels problèmes pourrait susciter une répugnance, et beaucoup de réserve, chez certains chercheurs opérationnels. Mais il serait vain de discuter longuement sur le sujet.

II-2. Connaissance des produits du système et de leur valeur

Il pourra paraître paradoxal de traiter de la connaissance des produits après avoir traité de leur marché . Il est clair que les deux préoccupations sont très imbriquées. Faute de pouvoir définir un produit en soi, on le définit par l'utilisation qui en est faite : "tel niveau de formation, c'est ce qui est utilisé dans tel processus de production". Est-ce à dire qu'il faut renoncer à améliorer la connaissance directe du produit ? Nous ne le pensons pas, bien que nous ne soyons pas en mesure ici de cristalliser la préoccupation en problèmes, qui échapperaient d'ailleurs à notre compétence. Si de tels problèmes pouvaient être formulés, ils seraient selon nous spécifiques du système éducatif et devraient donc être traités par les spécialistes de l'éducation.

La valeur des produits de l'éducation est une toute autre question. A notre connaissance, les techniques d'évaluation des produits peuvent être :

- le marché,
- une procédure de discussion contradictoire, telle que le vote par le parlement,
- la fixation à priori et sans discussion de la valeur par une autorité centrale.

Le risque d'arbitraire croît lorsque l'on passe d'une procédure à la suivante. Dans les faits, la valeur de l'éducation résulte actuellement des deux premières techniques; la valeur des produits d'une année d'éducation est représentée par les sommes déboursées par les ménages, les collectivités publiques et les entreprises. Il ne semble donc pas que l'on puisse déceler ici de problème de R.O.

II-3. Connaissance du matériau sur lequel on travaille

Il s'agit de la distribution des aptitudes de la population selon les diverses connaissances ou compétences : Quelle est dans les faits cette distribution ? Quelle est alors la "vitesse de circulation" des individus dans le système éducatif selon leurs aptitudes et selon le "flux d'éducation" qui leur est administré ? Ou encore qu'elle est la durée (pas forcément inférieure à la durée de la vie) nécessaire à un individu pour atteindre un niveau donné ?

Le sujet échappe à notre compétence; il semble toutefois que l'on dispose de peu de connaissances structurées sur lui : ici encore, nous ne nous sentons pas en mesure de formuler des problèmes et, s'il en existait, nous douterions qu'ils soient des problèmes de R.O.

II-4. Connaissance des techniques de production - Efficacité et coût

Nous incluons ici la consistance des programmes d'enseignement, la sélection des élèves à qui l'on fait suivre ces programmes (en n'omettant pas l'âge des élèves), la sélection des enseignants, la nature et la structure fonctionnelle des établissements d'enseignement (répartition des programmes selon les classes, effectif des classes), les méthodes pédagogiques.

Il semble que la définition des techniques de production, l'analyse de leur efficacité et de leur coût, sont essentiellement une affaire d'expérimentation, et d'enregistrement des résultats de cette expérimentation. Il n'y aurait donc pas à proprement parler de "problèmes". L'on peut peut-être souhaiter que l'expérimentation soit toujours conduite dans des conditions telles que ses résultats soient significatifs.

II-5. Structure générale du système - Mise en oeuvre des moyens

Si les éléments précédents sont connus, l'on est en mesure de procéder "rationnellement" à la mise en oeuvre des moyens dans la pratique, et cette pratique est selon nous heureuse, l'on n'hésite pas à mettre en oeuvre les moyens, même si l'on ne possède pas tous les éléments nécessaires à une mise en oeuvre rationnelle ! ici, il se pose de nombreux problèmes, susceptibles de traitement par des techniques économiques ou de R.O.

- Quel doit-être le programme d'investissement, et son échelonnement dans le temps ?
- Où localiser les établissements ? Qu'elle doit être la taille des établissements ?
- Pour une implantation donnée des établissements, comment affecter les élèves aux établissements ?
- Si l'on organise des circuits de ramassage des élèves, à implantation des établissements et affectation des élèves donnés, comment dessiner au mieux les circuits de ramassage ?
- Comment définir, dans les établissements importants, un planning satisfaisant de l'utilisation des locaux ? Comment améliorer le taux d'utilisation des locaux ?
- Comment ordonnancer les opérations administratives et matérielles en cours de fonctionnement du système (procédure de planification elle-même, construction des établissements ...) ?

L'on dispose de techniques susceptibles d'apporter des solutions relativement satisfaisantes à ces problèmes, dès l'instant que les informations nécessaires sont disponibles et que les autres aspects du système sont bloqués.

II-6. Appréciation de l'efficacité globale du système et de son adaptation - Rentabilité de l'éducation

Cette appréciation ne peut guère être basée que sur une comparaison des résultats globaux de l'éducation et des efforts consentis. Il est nécessaire de disposer d'une procédure d'enregistrement de l'information technique et économique suffisamment fine; en particulier, l'existence d'une procédure d'enregistrement comptable des dépenses dans chaque établissement est extrêmement précieuse. Il semble qu'ici des analyses économiques de type traditionnel, comparant des éléments du système entre eux, ou le système pris dans son ensemble, à d'autres systèmes au niveau international, soient plus appropriées que l'emploi des techniques de R.O. Il n'y aurait pas véritablement problème, mais préoccupation.

II-7. Conclusion

La planification de l'éducation engendre chez les responsables un certain nombre de préoccupations. Les décisions que l'on doit prendre face à ces préoccupations peuvent sans doute être améliorées, si l'on est animé en permanence de "l'esprit de la R.O.".

Dès maintenant, quelques problèmes se sont décantés à partir des préoccupations des responsables. Ils peuvent être traités par des techniques connues dans des conditions assez satisfaisantes, dès l'instant que l'on a consenti à bloquer les autres variables du système et à effectuer des hypothèses suffisamment douloureuses. Tout naturellement, c'est par rapport à la préoccupation de mise en oeuvre efficace des moyens que les techniques de R.O. sont dès maintenant les plus utiles.

Il semble nécessaire de fournir un gros effort de conceptualisation et d'expérimentation, que ce soit en vraie grandeur ou à échelle réduite, pour que de nouveaux problèmes susceptibles de traitement systématique se décantent progressivement à partir des préoccupations des planificateurs. L'on peut en effet se demander si les outils mathématiques disponibles ne sont pas actuellement sensiblement plus élaborés que les concepts disponibles

dans le domaine de l'éducation et ne requièrent pas une masse considérable d'informations inexistantes.

Quoi qu'il en soit les difficultés sont considérables. Si certains praticiens de la planification de l'éducation craignaient d'être supplantés, à court terme ou même à long terme, par les chercheurs opérationnels, l'on pourrait avancer de solides raisons les incitant à croire que cette septième préoccupation n'est pas fondée. Ceci n'est d'ailleurs pas dit pour les pousser à se passer des services des producteurs de la R.O....

III. Un exemple pratique d'étude : L'élaboration d'une carte scolaire

Une réforme de l'enseignement secondaire est actuellement en cours d'application en France. Tous les élèves du premier cycle secondaire (quatre années de scolarité, âge normal des élèves de 11 à 15 ans), seront progressivement regroupés dans deux types d'établissements : les collèges d'enseignement secondaire (C.E.S.) et les collèges d'enseignement général (C.E.G.). Les C.E.S. dispensent à la fois l'enseignement classique et l'enseignement moderne, tandis que les C.E.G. ne dispensent que l'enseignement moderne. La conjonction de la réforme et de l'accroissement considérable des effectifs de cette tranche d'âge, pour laquelle la scolarité est obligatoire, a conduit les autorités à repenser radicalement l'implantation des établissements scolaires. Nous avons été chargés de rechercher, pour le département de l'Eure, des méthodes permettant de localiser au mieux les établissements. Il convient de noter que, depuis la date de l'étude, certains principes de la réforme ont été modifiés, si bien que la comparaison de la carte résultant de l'étude avec des situations réelles actuelles ou futures serait dénuée de sens.

Nous préciserons dans l'exposé résumé de l'étude les principales hypothèses techniques effectuées. Toutefois, l'étude se situe également sur la base d'hypothèses générales, que nous énonçons ci-dessus, en nous référant aux développements des paragraphes précédents.

- L'objectif du système est de scolariser toute la population du département dans la tranche d'âge considérée, à deux exceptions près :
  - les élèves inadaptés, dont le pourcentage est connu d'après les statistiques du ministère de l'Education nationale,
  - les élèves de l'enseignement privé; une hypothèse sur la part du secteur privé dans l'ensemble était donc nécessaire.

La population à scolariser par commune résulte de perspectives démographiques, compte tenu des exceptions précédentes. Le "marché" est donc assez bien défini.

- Le "produit" est également défini. Les programmes d'enseignement sont supposés connus et sans influence sur la solution. L'on suppose donc que le niveau est le même, à la fois d'une catégorie d'établissements à l'autre, et au sein de chaque catégorie.
- Les élèves concernés sont tous susceptibles de suivre l'enseignement, à la vitesse définie par l'échéancier des programmes.
- Les techniques de production sont identiques partout, ou tout au moins sans influence sur la solution.
- La capacité globale et la structure fonctionnelle de chaque type d'établissement sont données. La normalisation de la capacité résulte du souci de rechercher de grandes séries susceptibles de réduire les coûts d'investissements.

- Les différences d'influence de deux solutions sur le reste de l'économie, se réduisent à une différence de coût. En particulier, l'implantation d'établissements scolaires n'a pas d'influence sur le développement urbain.

Nous laissons le lecteur apprécier le caractère réaliste de ces hypothèses.

Après avoir précisé les caractéristiques techniques du problème posé, nous esquisserons une formulation générale de ce problème; nous examinerons ensuite l'utilisation pratique du modèle construit et les résultats relatifs à l'Eure.

III-1. Le problème posé

Il s'agit de localiser les C.E.S. et les C.E.G. à prévoir dans le département de l'Eure. L'horizon retenu est 1970. L'étude effectuée a nuancé les résultats en fonction de perspectives pour 1980.

III-1-1. Données

Les données du problème sont les effectifs scolarisables, les caractéristiques des deux types d'établissements et les coûts de construction et fonctionnement des collèges et coûts de ramassage.

- Les effectifs scolarisables ont fait l'objet de prévisions; ils se répartissent en élèves classiques et élèves modernes, la répartition étant légèrement affectée par la localisation des établissements.
- Les établissements sont de deux types : C.E.S. et C.E.G., et dont les principales caractéristiques sont définies ci-dessous :

Tableau 1

Caractéristiques des deux types d'établissement

	C.E.S.	C.E.G.
Taille	4 sections 16 classes à 35 élèves 560 places	3 sections 12 classes à 35 élèves 420 places
Enseignement	Polyvalent en principe	Pas de section classique
Lieux d'implantation possibles	Communes de plus de 4.000 habit. recommandées	Chefs-lieux de canton - Communes de plus de 1.000 habit.

Par suite de la création récente des deux catégories d'établissements, les caractéristiques de l'enseignement qui y sera dispensé demeuraient assez vagues à la date de l'étude. Il est possible de doter les établissements d'internats dont la capacité est de 96 places, et dont le nombre est variable.

Les coûts

Les coûts d'investissement et de fonctionnement des collèges et les coûts liés au ramassage ont été analysés. Les coûts d'investissement des collèges comprennent :

- le coût du terrain
- les coûts de construction
- le matériel et les aménagements internes.

Les coûts de fonctionnement consistent en frais de personnel, en coûts de fournitures et services et en coût d'entretien des bâtiments.

Pour les coûts liés au ramassage scolaire, il convient de distinguer les coûts fixes (investissements, charges annuelles) et les coûts proportionnels au kilométrage (consommation de carburant, d'huile, pneus, entretien). On a examiné l'influence sur les coûts de l'exploitation par une entreprise ou une collectivité, et l'influence d'un décalage horaire dans le transport des élèves. Les valeurs numériques retenues ont été évaluées soit à partir de statistiques ou d'enquêtes du ministère de l'Education nationale, certains éléments imprécis étant estimés, soit à partir des prix observés sur le marché. Tous les coûts ont été actualisés à la date de 1970, en supposant que les équipements étaient renouvelés périodiquement à la fin de leur durée de vie. L'unité de valeur est le "franc constant 1963". Les valeurs numériques sont précisées au tableau 2 ci-après. Ce tableau met en évidence que les coûts des C.E.S., tant en investissement qu'en fonctionnement, sont supérieurs à ceux des C.E.G. Il en résulte que, si l'on admet que l'enseignement dispensé à la même "valeur", il est plus intéressant, du point de vue des coûts, d'implanter un C.E.G. qu'un C.E.S. chaque fois que le choix est possible.

III-1-2. Hypothèses

Pour traiter le problème, des hypothèses simplificatrices ont été formulées; on suppose ainsi que les élèves sont concentrés au centre des communes, que la répartition des élèves en classe n'introduit aucune perturbation, que la cantine scolaire est assurée à tout élève habitant à plus d'un kilomètre de l'agglomération où est implanté le collège, que le ramassage des élèves résidant à plus de 2,5 km des établissements est assuré.

III-1-3. Inconnues

Les inconnues du problème sont : le nombre de collèges et d'internats à construire en un point donné, et le nombre de cycles classiques ou modernes correspondants, la répartition des élèves classiques et modernes dans les différents collèges, le nombre d'autocars, le nombre et la longueur des circuits de ramassage relatifs à chaque emplacement.

III-1-4. Contraintes

Les solutions du problème doivent satisfaire à certaines contraintes : l'offre doit satisfaire la demande; tous les enfants d'une commune doivent être scolarisés et tous les enfants scolarisés en un point doivent y trouver une place adaptée à la nature de l'enseignement demandé, classique ou moderne. La durée du trajet ne doit pas excéder 30 ou exceptionnellement 45 minutes. Les C.E.S. doivent comporter au moins un cycle classique et un cycle moderne.

III-1-5. Critère de choix

Pour résoudre le problème, il convient encore de donner un critère de choix entre les différentes solutions : on a retenu la minimisation du coût global afférent à chaque solution, ce coût étant calculé dans l'optique de la collectivité nationale.

Tableau 2

Récapitulation des coûts

(Les coûts sont actualisés en milliers de francs 1963, sauf indication contraire).

		Par unité (1)	Par place
1. Coûts d'investissements			
11 - Externat CEG (420 élèves)	C_g	2 047	4,87
12 - Externat CES (560 élèves)	C_s	2 855	5,08
13 - Demi-pensionnat CEG ou CES (y demi-pensionnaires)	C_r	y x 1,95	1,95
14 - Internat CEG ou CES (96 places)	G^p	1 195,2	12,4
2. Coûts de fonctionnement			
21 - Frais fixes annuels d'externat CEG	F_g	4 952,8	11,80
22 - Frais fixes annuels d'externat CES	F_s	12 299,8	21,90
23 - Frais fixes annuels de demi-pension (y demi-pensionnaires)	F^r	357,1	$\frac{357,1}{y}$
24 - Frais fixes annuels d'internat CES ou CEG	F^p	453,0	4,72
25 - Frais proportionnels de demi-pensionnat	f^r	y x 5,3	5,3
26 - Frais proportionnels d'internat (z internes)	f^p	z x 13,7	13,7
Coût total			
Externat CEG		6 999,2	16,67
Externat CES		15 154,8	26,68
Demi-pension, pour y demi-pensionnaires		357,1 + 7,25 y	$\frac{357,1}{y}$ + 7,25
Internat, pour z internes		1 648,2 + 13,7 z	$\frac{1\,648,2}{z}$ +30,82
3. Coût de ramassage			
31 - Coûts fixes			
Investissement — cars de 60 places	Ca	96,6	1,66
Investissement — cars de 75 places	Ca	114,7	1,53
Frais fixes annuels — cars de 60 places	Fa	194,1	3,23
Frais fixes annuels — cars de 75 places	Fa	201,7	2,58
Total coûts fixes — cars de 60 places	fa + Fa	290,7	4,89
Total coûts fixes — cars de 75 places	fa + Fa	316,4	4,11
32 - Coûts kilométriques — cars de 60 places	fa	2,6 F/km	0,43
32 - Coûts kilométriques — cars de 75 places		2,7 F/km	0,36

(1) Les coûts unitaires sont théoriques, les collèges étant supposés pleins.

Tableau 3

Récapitulation des notations utilisées pour les différentes variables

Données	Inconnues
u = 1 ... U indice des communes de résidence	g_j = Nombre de CEG à construire en j
P^u = Population scolarisable résidant en u	s_j = Nombre de CES à construire en j
P^u_c = Population scolarisable classique résidant en u	i_j = Nombre d'unités d'internats en j
P^u_m = Population scolarisable moderne résidant en u	x_j = Nombre total de sections classiques des CES en j
j = Lieu d'implantation des collèges	c^u_j = Nombre d'élèves classiques non internes scolarisés en j en provenance de u
j = 1 ... S pour les CES	m^u_j = Nombre d'élèves modernes non internes scolarisés en j en provenance de u
j = 1 ... S ... G pour les CEG	P^u_j = Nombre de pensionnaires classiques scolarisés en j en provenance de u
t^u_j = Durée du trajet en cars de u en j	P^{ju}_j = Nombre de pensionnaires modernes scolarisés en j en provenance de u
Cg = Coût d'investissement d'un externat CEG	a_j = Nombre d'autocars attachés à l'emplacement j
Cs = Coût d'investissement d'un externat CES	q_j = Nombre de circuits de ramassage relatifs à l'emplacement j
Cr = Coût d'investissement d'un demi-pensionnat	l_{jq} = Longueur du circuit q relatif à l'emplacement j (q = 1 ... q_j)
C^p = Coût d'investissement d'un internat	
Fg = Frais fixes annuels d'externat CEG	
Fs = Frais fixes annuels d'externat CES	
F^r = Frais fixes annuels de demi-pensionnat	
F^p = Frais fixes annuels d'internat	
f^r = Frais proportionnels de demi-pensionnat	
f^p = Frais proportionnels d'internat	
Ca = Coût d'investissement de ramassage	
Fa = Frais fixes annuels de ramassage	
fa = Frais proportionnels de ramassage	

III-2. Formulation du problème

III-2-1. Formulation générale

Il est possible de donner au problème une formulation analytique : cette formulation s'obtient en écrivant que l'on recherche le minimum de la somme des coûts.

- Coût des externats CEG : (investissement, coût fixe annuel d'externat et de demi-pension)

$$c_1 = \sum_{j=1}^{G} (C_g + F_g + F^r)\, g_j$$

- Coût des externats CES : (investissement, coût fixe annuel d'externat et de demi-pension)

$$c_2 = \sum_{j=1}^{G} (C_s + F_s + F^r)\, s_j$$

- Coût relatif des internats : (investissement et fonctionnement)

$$c_3 = \sum_{j=1}^{G} (C^p + F^p)\, i_j + f_p\, (p_j^u + p'^u_j)$$

- Coût relatif aux demi-pensionnats : (coût variable annuel)

$$c_4 = (c^r + f^r) \sum_{\substack{u=2 \\ u=j}}^{U} (c_j^u + m_j^u)$$

- Coût de ramassage : (investissement, fonctionnement)

$$\mathcal{R} = (C_a + F_a)\, a_j + f_a \sum_{q=1}^{Q_j} l_{jq}$$

Soit au total

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \mathcal{R}$$

- Sans les contraintes : (scolarisation de tous les élèves d'une commune)

$$Pu = \sum_{j} (c_j^u + m_j^u + p_j^u + p'^u_j) \qquad \forall u$$

- Existence d'une place d'internat pour tous les internes

$$96\, i_j \geqslant \sum_{u} (p_j^u + p'^u_j) \qquad \forall j$$

4806

- Existence de places pour tous les élèves

$$420\ g_j + 560\ s_j \geqslant \sum_u (c_j^u + m_j^u + p_j^u + p'^u_j) \qquad \forall j$$

- Existence de places "classiques" pour tous les élèves classiques

$$140\ x_j \geqslant \sum_u (c_j^u + p_j^u) \qquad \forall j$$

- Temps de parcours inférieur à 30 ou 45 minutes

$$t_j^u \leqslant 30' \text{ ou } t_j^u \leqslant 45' \qquad \forall j$$

- Existence d'au moins un cycle classique par CES

$$3\ s_j \geqslant x_j \geqslant s_j \qquad \forall j$$

- Inconnues positives ou nulles.

Le coût apparaît comme une fonction linéaire d'environ 120.000 variables entrant dans le modèle. Ces variables ne sont pas toutes indépendantes; des relations les lient, certaines pouvant être précisées, tandis que d'autres ne peuvent malheureusement pas l'être. Par exemple, le nombre de cars a_j est lié d'une certaine façon aux différentes longueurs l_{jq} des circuits de ramassage, car si on augmente le nombre de cars (à capacité constante), chaque car va transporter moins d'élèves, donc la valeur de la longueur du circuit l_{jq} va décroître, tandis que le nombre de circuits q_j va croître. D'autre part, des inconnues et des données n'apparaissent pas explicitement : c'est le cas des temps de parcours t_j^u, des distances intercommunales $d_{uu'}$. Il n'est donc pas possible de chercher analytiquement le minimum du coût à partir de la formulation générale.

III-2-2 Formulation simplifiée par approximation du coût de ramassage

Une solution peut être tentée en simplifiant l'expression des coûts de ramassage. On peut dire que le coût de ramassage d'un élève est lié à la distance d_j^u séparant sa commune de résidence u du point d'implantation du collège j, et proposer pour ce coût l'expression :

$$\mathcal{R}' = k_1 \sum_{u'j} d_j^u (c_j^u + m_j^u)$$

où k_1 est un coefficient traduisant le fait que le ramassage ne se fait pas de façon individuelle, les cars accomplissant en général des circuits ne reliant pas u et j directement. L'expression $\mathcal{R}'$ constitue une approximation du coût de ramassage, moyennant quelques conventions supplémentaires. Cette expression ne peut être calculée que si l'affectation des élèves aux collèges, à localisation donnée (caractérisée par les nombres c_j^u et m_j^u) est déterminée.

Le modèle simplifié se présente sous la forme d'un programme linéaire à variable entière; sa structure est voisine de celle d'un programme linéaire de transport : à localisation fixée, et pour un nombre donné de collèges et d'internats (s_j, g_j, i_j) le modèle

se transforme en un programme d'affectation des populations aux différents établissements de capacité fixée.

Si la nature de ce programme mathématique est classique, sa dimension excède sensiblement celle des problèmes de cette nature résolus à ce jour, à des niveaux de coût acceptables : les temps de calcul sur ordinateurs dépasseraient toute mesure raisonnable.

Il convient donc de rechercher une solution dans une autre direction, en ne mettant en oeuvre que des calculs susceptibles d'être effectués à la main.

- Solution manuelle -

Pour y parvenir, on a procédé à une autre simplification de la formulation. L'expression du coût de ramassage $\mathcal{R}'$ repose sur la connaissance du coût de transport par élève kilomètre représenté par le coefficient k_1; ce coût n'est pas facile à saisir en pratique alors que les coûts fixes et variables C_a, F^a, f_a figurant dans la formulation générale le sont plus facilement. L'inconvénient de cette formulation générale vient de ce que le nombre de cars a_j d'une part, la longueur de circuit de ramassage $\sum_{q=1}^{Q_j} l_{jq}$ d'autre part ne sont pas reliés facilement aux autres variables du modèle. On peut toutefois remarquer :

- que, pour une implantation donnée, le nombre de cars est pratiquement connu en première approximation : en effet, les effectifs sont pratiquement les mêmes dans tous les collèges (ce point sera confirmé par la suite); on connaît alors assez bien, pour une implantation donnée, le nombre d'élèves ramassés par point d'implantation, et l'on peut en déduire le nombre de cars nécessaires si l'on connaît la capacité des cars et si l'on se fixe un coefficient moyen de remplissage; on peut alors connaître le terme $(C_a + F^a)$ a$_j$ qui ne dépend en première approximation que de l'implantation.
- que l'expression de la longueur des circuits de ramassage se simplifie si l'on remplace la longueur exacte $\sum_{q=1}^{Q_j} l_{jq}$ par la somme des distances joignant un collège à tous les centres de sa zone de recrutement $\sum_u d_j^u$ multipliée par un coefficient k_2 tenant compte du fait qu'en général le circuit effectué par le car n'est pas direct.

La nouvelle expression des coûts de ramassage

$$\mathcal{R}' = \sum_j [(C_a + F_a)\, a_j + f_a \; k_2 \sum_u d_j^u]$$

peut alors se calculer manuellement sans difficultés de principe.

III-3. Exploitation du modèle

III-3-1. Les balances entre les divers postes de coût

Le modèle se présente comme une balance entre 4 postes de coûts :

- les coûts relatifs aux CEG
- les coûts relatifs aux CES
- les coûts relatifs aux internats
- les coûts de ramassage

Nous allons examiner comment se balancent ces différents postes pris 2 à 2.

(a) Balance CEG - CES

Le nombre d'élèves à scolariser étant une donnée, le nombre de CEG à implanter est d'autant plus faible que le nombre de CES est plus élevé et inversement. Or, en investissement comme en fonctionnement, le coût unitaire d'un CES est plus élevé que celui d'un CEG; si l'on avait la possibilité de n'implanter qu'une catégorie d'établissements, on donnerait donc la préférence aux CEG. Toutefois, l'existence de CES est rendue nécessaire pour assurer l'enseignement classique, il convient donc, pour minimiser le nombre de CES, de mettre le nombre maximum d'élèves classiques dans les CEG, c'est-à-dire d'y créer 3 sections classiques sur quatre.

(b) Balance entre internat et ramassage plus demi-pension, pour un nombre d'établissements donné

Le nombre d'élèves à ramasser, et donc demi-pensionnaires, est d'autant plus faible que le nombre de pensionnaires est plus élevé et inversement. En fait, pour le taux d'actualisation retenu, le coût moyen total du ramassage et de la demi-pension est toujours inférieur au coût moyen total d'internat. Le calcul montre en effet qu'il faudrait que les circuits de ramassage aient une longueur moyenne de 434 km pour que l'internat devienne plus avantageux, alors que la longueur moyenne des circuits ne doit guère excèder 40 km. Ceci conduit à retenir en moyenne la règle : rendre minimum le nombre d'internes, et transporter plutôt qu'interner. Compte tenu de la répartition géographique des communes et de la densité de population dans l'Eure, on est pratiquement assuré à priori que toutes les communes seront situées à une distance du CEG le plus proche permettant le ramassage (distance maximale évaluée à 15 km); il en résulte que seuls les élèves classiques, ne pouvant recevoir l'enseignement classique dans un CEG seront internes.

(c) Balance entre ramassage et nombre d'établissements

Ici, la balance n'est pas évidente a priori et résulte des calculs.

Des remarques précédentes, il résulte que l'on est conduit successivement :

- à rendre minimal le nombre de CES, ceux-ci étant toujours moins avantageux que les CEG,
- à rendre minimal le nombre de CEG pour une implantation donnée des CES, en vue de réduire les coûts d'investissement des CEG,
- à augmenter alors le nombre de CEG pour examiner si le gain sur les coûts de ramassage et de demi-pension n'excède pas la perte sur les coûts d'investissement,
- à déplacer alors des CEG pour examiner si le gain sur les coûts de ramassage n'excède pas la perte sur les coûts de demi-pension; en effet, le nombre de demi-pensionnaires augmente nécessairement dans ce déplacement, mais la longueur des circuits pourrait être réduite.

Nous précisons ci-après les principales étapes de la procédure d'exploitation, en passant sous silence, pour alléger l'exposé, certaines difficultés provenant de la nécessité d'assurer la cohérence entre une implantation et l'affectation correspondante des élèves.

III-3-2. La procédure d'exploitation

(a) Définition des populations pensionnaires

Seront nécessairement pensionnaires les élèves situés à une distance d_o de tous les emplacements possibles de CES ne permettant pas leur ramassage. On peut alors calculer le nombre minimal d'internats.

(b) Implantation des CES et des internats

(b_1) Recherche du nombre minimal de CES

Le nombre minimal de CES à implanter est déterminé par l'une des deux considérations suivantes :

- nombre d'emplacements recommandés de CES,
- nombre d'élèves classiques.

(b_2) Implantation des CES

L'implantation est effectuée, d'une part, aux emplacements obligatoires, d'autre part, par importance décroissante de la population classique des emplacements possibles et/ou des zones où ils peuvent recruter des élèves. Si certaines conditions relatives à la population des zones susceptibles d'être affectées à plusieurs emplacements ne sont pas réalisées, l'on est conduit à implanter plus de CES que le nombre calculé ci-dessus.

(b_3) Implantation des internats

L'implantation des internats est effectuée en cherchant à compléter les sections classiques des CES précédemment implantés.

(b_4) Remplissage des cycles modernes des CES

Ces cycles modernes sont remplis avec la population moderne des lieux d'implantation ou celle des communes les plus proches.

(c) Implantation des CEG

L'implantation des CEG est conduite en cherchant à rendre minimal le coût global afférent aux élèves modernes non affectés aux CES.

(c_1) Recherche du nombre minimal de CEG

Le nombre minimal est déterminé par le nombre d'élèves modernes restant à affecter.

(c_2) Première implantation des CEG

On cherche à implanter le nombre minimal de CEG aux emplacements possibles que la population permet de saturer, puis par ordre décroissant de la population.

(c3) Balance entre coûts d'investissement et de fonctionnement et coût de ramassage

A partir de la solution précédente, on ajoute un ou plusieurs CEG, jusqu'à ce que l'on obtienne la solution la plus avantageuse; dans l'exemple traité ici, l'optimum correspond en fait au nombre minimal de CEG.

(c_4) Balance entre coûts de fonctionnement et de ramassage

On tente d'améliorer, au vu de la carte, la solution obtenue en C.2 en déplaçant un CEG; on pourrait obtenir en effet un gain sur les coûts de ramassage (réduction de la longueur des circuits) supérieur à la perte sur les coûts de demi-pension (déplacement d'un CEG d'une ville vers une ville moins importante, donc nécessairement augmentation du nombre de demi-pensionnaires.

III-4. Application au département de l'Eure (voir carte jointe)

Les effectifs à scolariser sont connus par commune, ainsi que leur répartition entre classiques et modernes.

III-4-1. Définition des populations pensionnaires

La vitesse d'un car étant d'environ 60 km/h, on a estimé que la distance routière correspondant à une durée de trajet de 30 minutes était de 20 km et, compte tenu du dessin du réseau routier du département, on a admis que ceci équivalait à 15 km à vol d'oiseau.

L'examen de la carte permet de vérifier qu'il n'existe pas de commune située à plus de 15 km d'un emplacement possible de CEG, c'est-à-dire que tous les élèves modernes peuvent être ramassés.

Il existe 10 emplacements possibles de CES (villes de plus de 4.000 habitants); tous les élèves classiques sont donnés au tableau 4. En traçant un cercle de 15 km centré sur ces emplacements, l'on détermine les élèves pensionnaires. La population classique de l'Eure se répartit en :

Total	5.538
Externes ou demi-pensionnaires	5.010
Internes	528

III-4-2 Implantation des CES et des internats

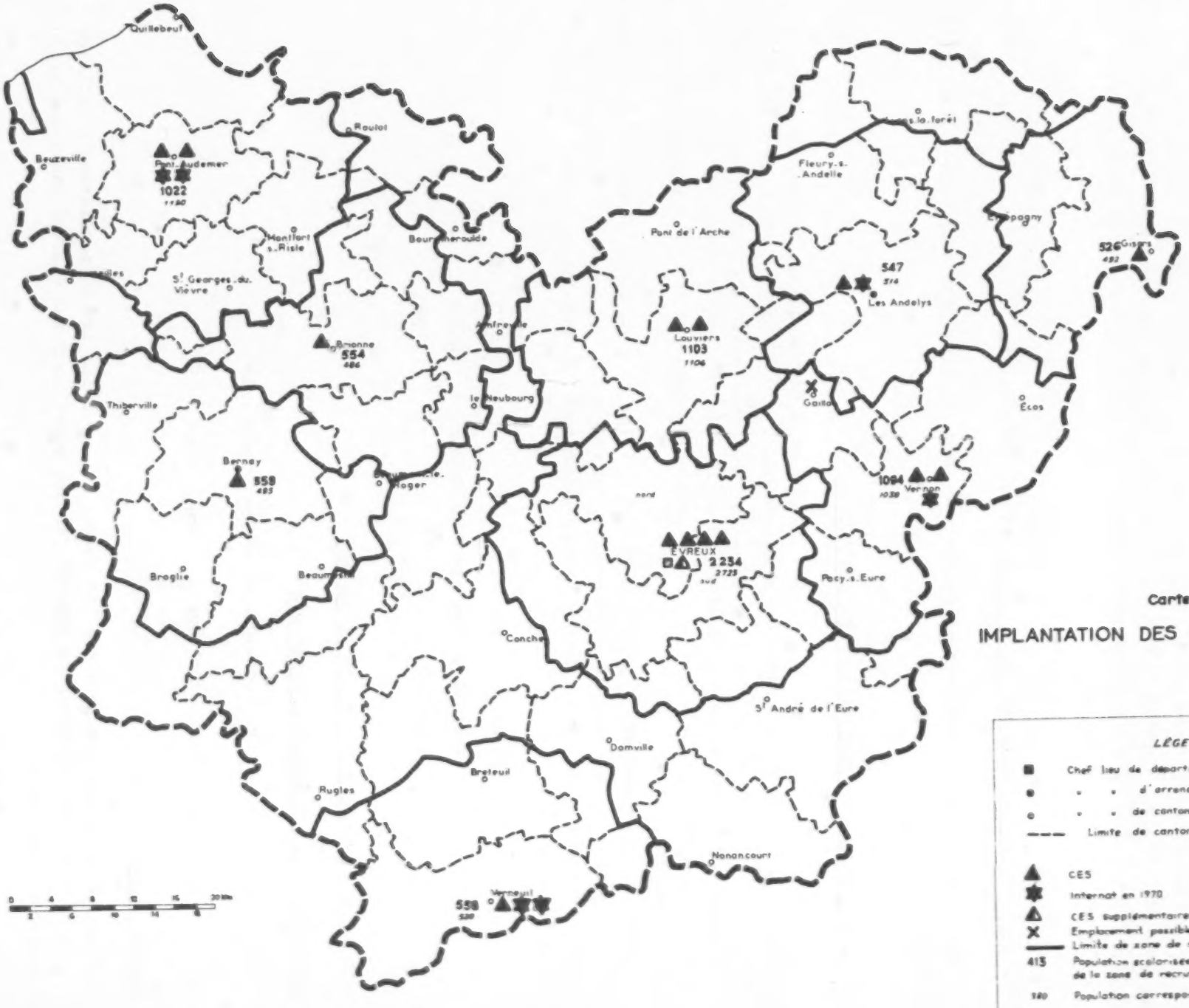
(a) Nombre minimal de CES et d'internats

CES = Plus petit entier supérieur à $\frac{5.538}{420}$ soit 14

Internats = Plus petit entier supérieur à $\frac{528}{96}$ soit 6

(b) Implantation des CES

L'examen de la carte montre que les cercles centrés sur les 10 emplacements définissent trois "districts" indépendants séparés par les zones dont les élèves classiques sont nécessairement internes :



Carte 1

IMPLANTATION DES CES DANS L'EURE

LÉGENDE

- Chef lieu de département
- " " d'arrondissement
- " " de canton
- Limite de canton
- CES
- Internat en 1970
- CES supplémentaire en 1980
- Emplacement possible de CES non retenu
- Limite de zone de recrutement
- 415 Population scolarisée en 1970 dans les CES de la zone de recrutement
- 580 Population correspondante en 1980

D_1 - Verneuil/ Avre

D_2 - Bernay, Brionne, Pont-Audemer

D_3 - Les Andelys, Evreux, Gaillon, Gisors, Louviers, Vernon

L'implantation à Verneuil se fait sans difficulté. Le district Bernay, Brionne, Pont-Audemer compte 1.383 élèves classiques, ce qui nécessite 4 CES pour 3 emplacements; 2 CES sont alors implantés à Pont-Audemer. Le dernier district compte 3.400 élèves classiques, ce qui nécessite 9 CES pour 6 emplacements possibles. En fait, pour que ne soient internes que les élèves qui ne peuvent pas être ramassés, on est conduit à implanter 4 CES à Evreux, 2 à Louviers, 2 à Vernon, 1 aux Andelys et 1 à Gisors.

L'affectation des élèves aux différents établissements se fait "au plus près".

(c) Implantation des internats

On est conduit à placer les 6 internats à :

Pont-Audemer	: 2
Verneuil/Avre	: 2
Les Andelys	: 1
Vernon	: 1

(d) Remplissage des cycles modernes des CES

Ce remplissage se fait sans difficulté.

Tableau 4

Implantation des CES et des internats, en fonction de la population à scolariser, dans le département de l'Eure

	Population propre classique de la commune	CES	Externes classiques affectés	Internats	Internes	Total classiques	Places modernes	Population propre moderne résiduelle
Les Andelys	112	1	332	1	75	407	140	216
Bernay	167	1	419	-	-	419	140	337
Brionne	91	1	414	-	-	414	140	140
Evreux	1.159	4	1.394	-	-	1.394	840	2.139
Gaillon	102	-	-	-	-	-	-	322
Gisors	120	1	246	-	-	246	280	99
Louviers	303	2	683	-	-	683	420	444
Pont-Audemer	177	2	550	2	192	742	280	282
Verneuil/Avre	76	1	227	2	192	419	140	164
Vernon	423	2	745	1	69	814	280	922
Total	2.730	15	5.010	6	528	5.538	2.660	5.065

Le nombre minimal de CES était de 14.

Le coût total correspondant s'établit à :

15 CES	227,3	millions de Fs	
6 internats	9,9	"	"
528 internes	7,2	"	"
11 demi-pensionnats	3,9	"	"
2.382 demi-pensionnaires	17,3	"	"
45 cars de 60 places	13,1	"	"
4.780 km de circuits, soit en première approximation	14,0	"	"
Total	292,7	"	"
Soit un coût annuel d'environ	20,5	"	"

Le pourcentage de demi-pensionnaires faisant plus de 30 minutes de trajet est de 0,8 %.

III-4-3. Implantation des CEG

(a) Nombre minimal de CEG

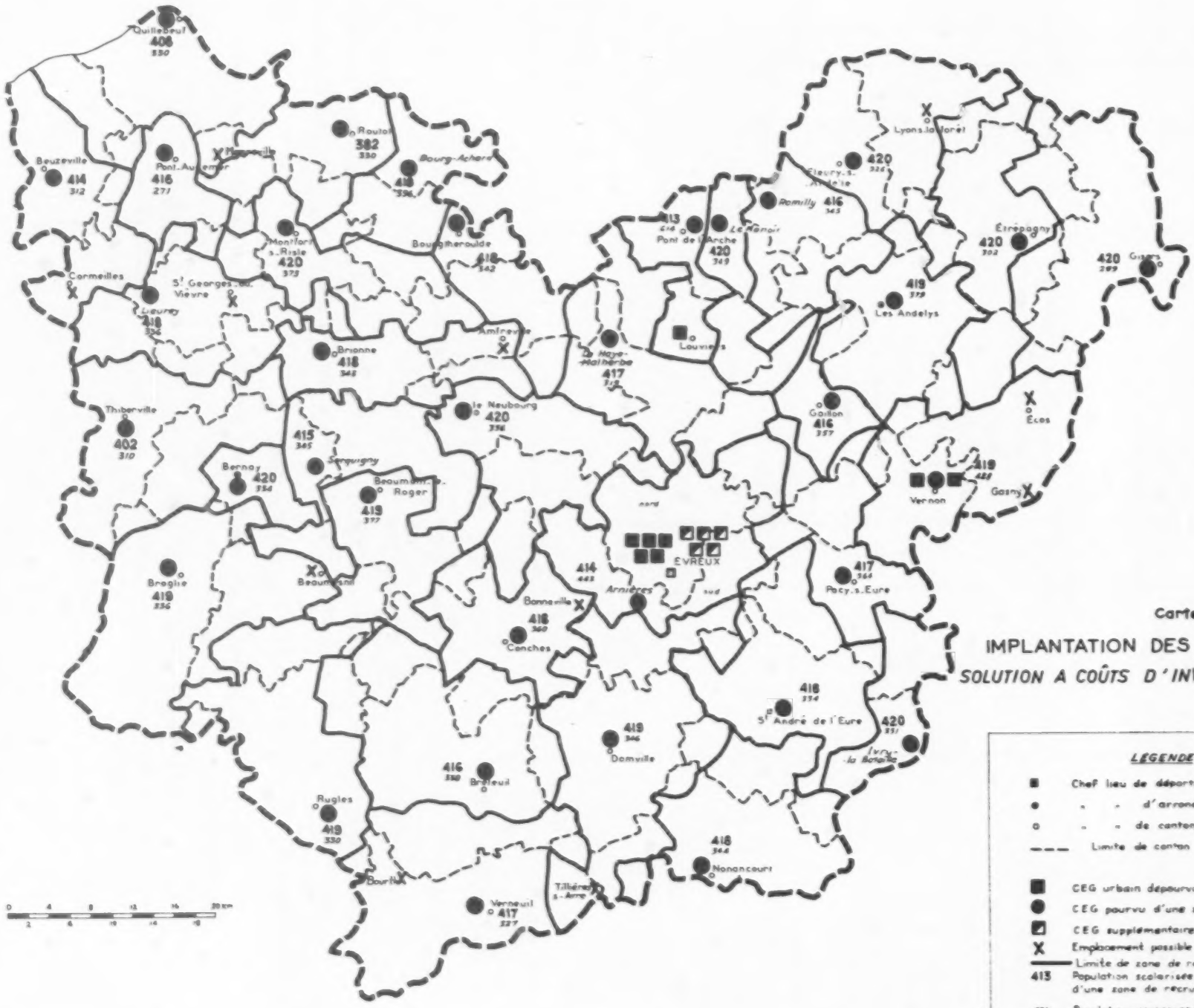
La population moderne du département s'élève à 20.588 élèves, dont 2.660 scolarisés dans les CES; il reste donc 17.928 élèves à scolariser dans les CEG, ce qui représente au minimum 43 CEG ayant une capacité totale de 18.060 places, soit 132 places supplémentaires pour le département. On dispose de 48 emplacements possibles.

(b) Première implantation des CEG

La population propre d'Evreux permet de remplir 5 CEG, celle de Louviers 1 CEG et celle de Vernon 2 CEG, soit 8 CEG au total. Il reste à implanter 35 CEG dans 48 emplacements possibles; on les implante par ordre décroissant d'effectifs résidant dans la commune, ce qui conduit à rejeter 13 implantations. Pour qu'il n'y ait pas d'élèves situés à plus de 15 km d'un CEG, on est conduit à implanter un CEG dans une commune précédemment supprimée (Routôt). Des tâtonnements sont nécessaires pour remplir les CEG de telle sorte que les élèves n'aient jamais plus de 15 km à parcourir. On y parvient à peu près, la solution étant définie au tableau 5 et reproduite sur carte ci-après.

Le coût actualisé de la solution est le suivant :

43 CEG	301,0	millions de Fs	
35 demi-pensionnats (frais fixes)	12,5	"	"
9.868 demi-pensionnaires (frais proportionnels)	71,5	"	"
164 cars de 60 places	47,7	"	"
Frais proportionnels aux kilomètres :			
4.910 km, soit en première approximation	14,4	millions de Fs	
Total	447,1	"	"
Soit un coût annuel de l'ordre de	31,3	millions de Fs	



Carte 2

IMPLANTATION DES CEG DANS L'EURE

SOLUTION A COÛTS D'INVESTISSEMENT MINIMAUX

LEGENDE

- ■ Chef lieu de département
- ● " " d'arrondissement
- ○ " " de canton
- ——— Limite de canton
- ■ CEG urbain dépourvu de zone de recrutement
- ● CEG pourvu d'une zone de recrutement
- ◪ CEG supplémentaire en 1980
- X Emplacement possible de CEG non retenu
- ——— Limite de zone de recrutement
- 413 Population scolarisée en 1978 dans un CEG pourvu d'une zone de recrutement
- 380 Population correspondante en 1980

Tableau 5

Implantation des CEG

	Elèves modernes de la commune	CEG		Elèves modernes de la commune	CEG
Les Andelys	216	1	Ivry-La-Bataille	121	1
Amfreville	26	-	La Haye Malherbe	52	1
Arnières sur Iton	62	1	Le Manoir	94	1
Beaumesnil	27	-	Lieurey	59	1
Beaumont-le-Roger	193	1	Louviers	444	1
Bernay	337	1	Lyons-la-Forêt	25	-
Beuzeville	116	1	Manneville-sur-Risle	50	-
Bonneville	68	-	Montfort-sur-Risle	51	1
Bourg-Achard	97	1	Le Neubourg	188	1
Bourgthéroulde	52	1	Nonancourt	99	1
Bourth	48	-	Pacy-sur-Eure	169	1
Broglie	56	1	Pont-de-l'Arche	170	1
Breteuil	157	1	Pont-Audemer	282	1
Brionne	140	1	Quillebeuf	54	1
Conches-en-Ouche	193	1	Romilly-sur-Andelle	92	1
Cormeilles	51	-	Routot	54	1
Damville	67	1	Rugles	156	2
Ecos	26	-	St-André-de-l'Eure	121	1
Etrepagny	135	1	St-Georges-du-Vièvre	38	-
Evreux	2.139	5	Serquigny	87	1
Fleury-sur-Andelle	72	1	Thiberville	78	1
Gaillon	322	1	Thillière-sur-Avre	38	-
Gasny	79	-	Vernon	922	2
Gisors	99	1	Verneuil-sur-Avre	164	1

On cherche alors si cette solution peut être améliorée :

i) déplacement d'un CEG : (balance ramassage, demi-pension)

- vers un emplacement où il en existe déjà un :

  Le kilomètre de circuit coûtant 2.600 Frs, il faudrait gagner au moins 250 km pour que l'opération soit rentable; l'expérience a montré que ce n'était pas possible.

- vers un emplacement où il n'en existe pas :

  on a exploré les transferts les plus intéressants; le bilan du transfert est le suivant :

Arnières-sur-Iton	-	Evreux	92.503 Frs
Vernon	-	Gasny	101.895 Frs
Lieurey	-	Cormeilles	89.600 Frs

  Aucun transfert n'est donc intéressant.

ii) Addition d'un CEG (balance entre investissement et ramassage + demi-pension)

Le coût supplémentaire d'externat et demi-pension est de 7.356.000 Frs

On ne peut supprimer au maximum que 50 demi-pensionnaires : 365.000 Frs
On peut espérer supprimer un car : 316.000 Frs

Pour que l'opération soit rentable, il faudrait économiser sur les circuits :

7.356.000 - 365.000 - 316.000 = 6.675.000 Frs

Ce qui représente une réduction d'environ 2.280 km, ce qui est tout à fait impossible en pratique

La solution adoptée semble donc bien la meilleure sur le plan économique : le taux d'occupation moyen est de 99,3 %. Toutefois, elle présente des inconvénients sur le plan psychologique : des élèves de villes importantes (Evreux, Louviers) sont transportés et scolarisés dans d'autres localités. On peut tenter d'améliorer cette situation en ajoutant un CEG, de manière à améliorer la forme des zones de recrutement. On est alors conduit à implanter ce CEG à Gaillon, ce qui conduit à un coût supplémentaire de 6.641.000 Frs.

Tableau 6

Nombre, effectifs et coût des CES et des CEG
dans le département de l'Eure

	CES	CEG	Ensemble
Coût actualisé	292,7 millions Frs	447,1 millions Frs	739,8 millions Frs
Coût annuel	20,5 "	31,3 "	51,8 "
Elèves classiques	5.538	-	5.538
dont internes	528	-	528
Elèves modernes	2.660	17.928	20.588
Total élèves	8.198	17.928	26.126
Nombre d'établissements	15	43	58
Nombre minimum d'établissements	14	43	57
Emplacements possibles	10	48	
Coût actualisé par élève	3.570 Frs	2.500 Frs	2.840 Frs

III-5. Conclusion

Le problème que nous avons succintement exposé suggère quelques réflexions. Les unes concernent la stratégie de l'étude et les méthodes, les autres, les résultats de l'étude.

- Méthodes d'étude

Le problème posé était de grande dimension; il en résulte qu'il n'était pas possible, avec le budget de l'étude, de trouver une solution rigoureuse au problème en utilisant des

techniques classiques. On a donc mis au point une méthode approchée, conduisant à une solution d'ailleurs très bonne. La grande dimension est caractéristique de nombreux problèmes d'intérêt public, lorsqu'on les aborde de manière centralisée; il en résulte que des compromis sont en permanence nécessaires entre le coût des études et la précision souhaitable des résultats; le compromis à réaliser dans une situation donnée est une question de fait; dans certains cas, il conviendrait de mener les études avec des moyens très supérieurs à ceux mis en oeuvre; dans d'autres cas, des estimations sommaires et peu coûteuses suffiraient.

- Résultats de l'étude

Le très bon coefficient d'occupation obtenu pour les établissements, malgré la capacité unitaire fixée de ceux-ci, mérite d'être souligné; pratiquement, les établissements sont saturés. En conséquence, certaines zones de ramassage peuvent avoir une forme irrégulière et, observées localement, certaines affectations peuvent paraître surprenantes.

Tous les résultats de l'étude n'ont pas été présentés ici; en particulier, on a également mis au point une méthode permettant de tracer les circuits de ramassage relatifs à chaque collège (1).

L'optimum économique réalisé peut conduire à des difficultés psychologiques : en effet, les élèves sont affectés de façon autoritaire à un établissement; ils risquent de ne pas se trouver dans l'établissement le plus proche de leur domicile. En outre, de nombreux élèves modernes n'ont pas le choix entre la fréquentation d'un CEG ou celle d'un CES, ce qui présenterait des inconvénients si le niveau de l'enseignement y était différent.

Dans d'autres départements que l'Eure, la solution la meilleure ne consisterait pas forcément à implanter le nombre minimal d'établissements : quand la densité de population est faible, la longueur des circuits de ramassage par élève devient importante et il peut être plus avantageux de construire davantage d'établissements.

Enfin, comme nous l'avons déjà souligné, la solution repose sur l'hypothèse, implicitement admise dans les études de cette nature, que la solution retenue ne modifie pas la distribution géographique future de la population; acceptable pour des équipements de petite dimension, cette hypothèse l'est beaucoup moins pour de très gros investissements. Toutefois, l'on dispose actuellement de peu de connaissances sur les conséquences de telles implantations.

---

(1) Depuis l'étude, des recherches complémentaires ont été effectuées sur le sujet. Voir : Patrice Bertier, Metra, Série Spéciale N° 8, 1966.

DESIGN FOR AN EDUCATION SYSTEM COST-EFFECTIVENESS MODEL *

by Clark C. Abt

This paper presents a design for an elementary and secondary education cost-effectiveness model, emphasizing evaluation of the U.S. Elementary and Secondary Education Act's Title I programs for the disadvantaged. Substantively, the design attempts to exploit available data on results accomplished by educational systems, as well as what is known about learning and influence processes. Methodologically, the design attempts a quantitative description of education systems, that may be programed as a computer simulation that will produce quantitative indications of the relative impacts of alternative Title I projects on a given school, student group, and community.

The model at this writing has been partly programed for computer simulation, and empirical data are sought for its validation.

The model was developed in 1966 under contract for the U.S. Office of Education's Division of Operations Analysis, by an interdisciplinary team at Abt Associates Inc., a private research firm located in Cambridge, Massachusetts. Some five man-years of professional effort were expended by fifteen professionals under the direction of the writer. The writer gratefully acknowledges the inspiration and encouragement given by Dr. Alexander Mood, Assistant Commissioner for Educational Statistics; the wise direction and warm support of Dr. David Stoller, Director of the Division of Operations Analysis; Dr. Richard Powers, Chief of the Education Economics Analysis Branch; and Mr. Martin Spickler; all of the U.S. Office of Education. Significant parts of the model design are the work of my colleagues at Abt Associates Inc, Stephen Bornstein, Louis Cutrona, Stephen Fitzsimmons (deputy project director for data analysis), Raymond Glazier, James Hodder, Holly Kinley, Peter Miller (deputy project director for computer simulation design), M. Keith Moore, Martha Mulloy, Michael Pritchett, Robert Rea, Martha Rosen, and Richard Rosen. Professor Andre Daniere and Mr. George Thomas of Harvard University generously gave advice and information.

I. The overall model and the submodels

The purpose of the overall education cost-effectiveness model is to evaluate the relative school, student, and community effects and associated costs of alternative U.S. Elementary and Secondary Education Act of 1965 Title I programs for the disadvantaged.

Since such programs are directed toward increasing learning, the model focuses strongly on the changes in student achievement, the attitudes and environmental factors influencing achievement, and the social behaviors and community impacts of improved achievement in the target population.

---

* This paper describes the basic conceptual design for the model; since the writing of this paper, the mathematical design for and the refinement of the model have taken place. There have been changes in the expression of certain of the qualitative concepts described, but the theories underlying the model and the qualitative concepts in it have remained unchanged.

The model may be described as a partly micro-educational model, because of its representation of some of the detailed components of the education process. However, the model does not pretend to be a micro-analysis of learning and influence processes, although these processes are represented by whatever objective correlatives are available in the form of qualitative numerical indices. Refinement of the model design is continuing. This description is current for December 1966.

The model also does not pretend to be an exhaustive representation to what leads to changed student achievement, attitudes, earning potential, and equality of educational opportunity. The attempt was to emphasize those aspects of the education process that seem most relevant to achievement increases in students affected by Title I programs, and for which quantitative data is widely available.

Some attitudinal variables believed decisive for the learning process are not yet quantitatively defined, and there is only qualitative, impressionistic data available on them. Rather than simply omit such troublesome but significant variables and thus falsely imply insignificance by ommission, the qualitative variables are sometimes given numerical index ratings roughly corresponding to such qualitative distinctions as are offered by empirical but impressionistic data. In other cases, qualitative variables are built up numerically from components for which better data is available, or assigned index values by user judgment. In all cases, the attempt has been made to achieve a useful balance among the demands for compact data input, limited model complexity and validity of output.

The model's emphasis is on what the education system produces in terms of quantities and qualities, rather than how it does so. However, a certain amount of detail on how it produces its effects was essential to simulate for forecasting what it will do.

The model is not initially expected to be predictive, but only indicative of the relative cost-effectiveness of alternative Title I programs. Prediction requires regularity of process, and no two schools, student populations, or communities are alike. Even the calibration of the model with previous Title I before-and-after data will only improve its indication of the probable relative effectiveness of programs, because of the uniqueness of each case. Only to the extent that Title I situations are similar and are accurately measured and modeled, can their impact be forecast. However, even such a limited cost-effectiveness forecasting and evaluation model as that described here offers a substantial aid to education planners and policy-makers.

The overall model consists of five submodels : (See Figure 1 below)

- School
- Instructional Process
- Community Interactions
- Costs
- Cost-Effectiveness

(a) The School Submodel represents the production process whereby the inputs of four partially educated student types (white and non-white, above and below $2,000 family income) and education resources (teachers, equipment, facilities, community environment) are transformed into better educated individuals, graduates and dropouts. Inputs include Title I programs, previous school achievement and student sociological data, and specific improved achievement in the target population. Outputs are the change in numbers of graduates, dropouts, achievement levels by grade and student type, and critical achievement areas.

(b) The Instructional Process Submodel represents the improvements in specific student achievement and attitude resulting from a Title I program. It attempts to reproduce

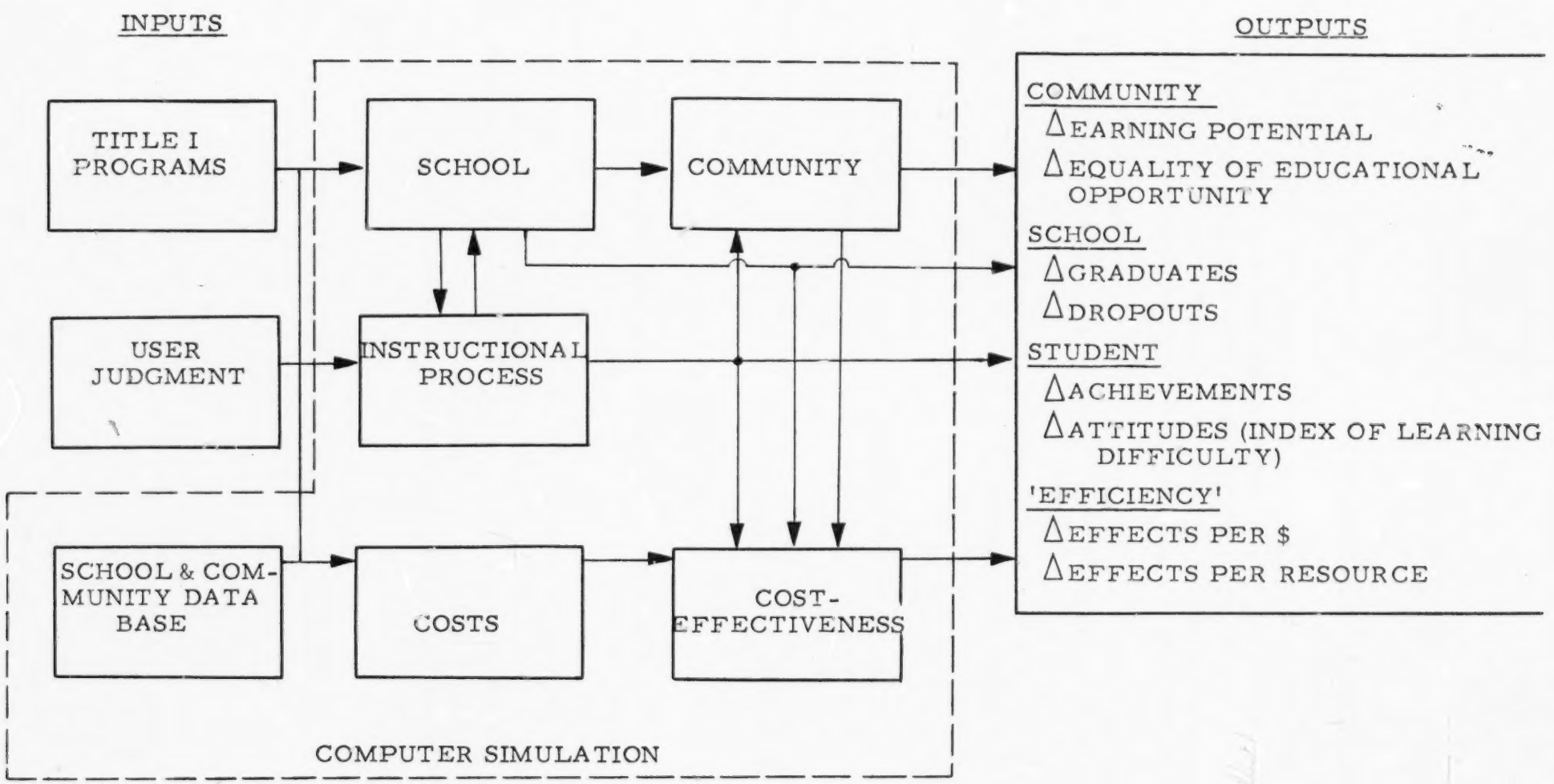


Figure 1: Cost-Effectiveness Model Overview Showing Inputs, 5 Submodels, and Outputs.

the effects of the influence process whereby behavior and attitude are modified by exposures to teacher, parent, and peer of varying duration and intensity. Inputs are the Title I program, previous and current changes in attitudes and achievements, and sociological data. Outputs are changes in achievement and attitude ("Index of Learning Difficulty" by student type in the Title I target population.

(c) The Community Interactions Submodel estimates the impact on two community variables of the changes in education system output due to Title I programs. The inputs are the School Submodel outputs of changes in numbers of graduates, dropouts, and achievement levels; the Instructional Process outputs of changed student achievement and attitude; and community characteristics from the Data Base. Outputs are the community changes in terms of changes in lifetime earning potential and equality of educational opportunity of the Title I target population.

(d) The Cost Submodel accounts for direct and indirect costs required to implement Title I programs. It allows the user to associate specific costs with specific components of the program and their effects. Inputs are the Title I program description and costs, and the real national average costs of typical Title I items. The submodel compares typical and proposed expenditures. Outputs are the total costs of the program, the added resources bought, and total program costs broken down by component parts.

(e) The Effectiveness Submodel is the submodel in which the analysis and the output of the results determined by the other submodels takes place. The inputs to the Effectiveness Submodel are all of the variables which are in the Data Base at any time, the outputs of all of the above submodels (i.e., student, school, and community effects), and their associated costs. Outputs are efficiency data, measures of education effectiveness, and descriptive school, student and community data. Specific efficiency measures are effects per cost, and effects per resource.

The outputs of each Title I program would be evaluated by at least one model "run", and comparison of alternate programs can be made by comparing respective effects and costs. Both different programs for the same target population, and with some reduced realism, the same or different programs for different target populations may thus be compared. The tables below are (fictional) examples of typical computer printouts (output) of a model run for a single specific school improvement project, giving before-project and after-project achievement, attitude and economic data on students by population type.

The following sections describe the five submodels in more detail.

SAMPLE FICTIONAL SUMMARY OUTPUT

I. - U.S.O.E. Cost-effectiveness model

Community :	Ferndale Mass.	Project Type :	Remedial Reading	Target Population :	G2-3 School B	Annual Cost	85000

School Impacts

	Pop Type	Average Achievement TGT-G	Average Achievement G-12	Index of Learning Difficulty	Number of Dropouts	Number of Graduates
Before Project, Year : 1965	1	1.2	8.6	86	20	28
	2	2.0	10.3	84	16	31
	3	1.4	7.9	80	21	27
	4	3.2	12.7	56	9	46
After project, year : 1967	1	1.8	10.2	86	16	32
	2	2.6	11.0	84	12	35
	3	2.4	11.2	80	17	31
	4	3.2	12.7	56	8	47

Community Impacts

Equality of Educational Opportunity (1)

	Before Project, year : 1965	After Project, year : 1967
Combined	.40	.50
By Income Groups	.35	.40
By Ethnic Groups	.18	.27

Expected Average Lifetime Earnings

Population type	Before Project, year : 1965	After project, year : 1967
1	$ 200000	$ 275000
2	$ 300000	$ 400000
3	$ 325000	$ 400000
4	$ 450000	$ 500000

Population types

1 Non-whites under 2000 income
2 Non-whites over 2000 income
3 Whites under 2000 income
4 Whites over 2000 income

(1) Defined as one minus the absolute value of the correlation between achievement and income, or as one minus the absolute value of the correlation in achievement between two different racial groups.

II. Achievement outputs

by grade, subjects, and population types

Community : Ferndale Mass. Project Type : Remedial Reading Target Population : G2-3 School B Annual cost : 85000

	Grade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Pop Type	Grade levels in language											
Before Project Year : 1965	1	.6	1.1	1.6	2.3	3.0	3.8	4.5	5.2	7.0	7.6	8.2	8.9
	2	.8	1.2	1.9	2.9	3.4	4.5	5.1	6.0	7.7	8.4	9.3	10.0
	3	.8	1.3	2.0	3.1	3.7	4.9	5.8	6.6	8.6	9.2	9.9	10.9
	4	1.2	2.1	2.9	4.0	5.0	6.2	7.1	8.0	9.3	10.2	11.0	12.0
After Project Year : 1968	1	.6	1.4	2.9	3.0	3.9	5.8	6.7	7.6	8.5	9.4	10.3	11.0
	2	.8	1.5	3.0	4.0	5.0	6.0	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.6
	3	.8	1.7	3.1	4.0	5.2	6.2	7.1	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
	4	1.2	2.1	2.9	4.0	5.0	6.2	7.1	8.0	9.3	10.2	11.0	12.0
	Pop Type	Grade levels in mathematics											
Before Project Year : 1965	1	.5	1.1	1.8	2.3	3.0	3.6	4.4	5.0	5.8	6.3	7.0	7.7
	2	.8	1.3	2.2	2.9	4.0	4.6	5.5	6.1	7.0	8.0	8.1	8.8
	3	.9	1.5	2.7	3.1	4.1	5.0	6.7	6.6	7.2	8.0	8.1	8.8
	4	1.0	2.0	2.9	3.9	5.0	6.2	7.1	8.0	9.1	10.0	11.1	12.0
After Project Year : 1968	1	.5	1.3	2.2	3.0	4.0	4.6	5.4	6.0	6.7	7.2	8.0	8.8
	2	.8	1.8	2.9	3.9	5.0	5.6	6.5	7.1	8.1	8.4	8.5	9.0
	3	.9	2.0	3.0	4.1	5.0	6.0	7.0	8.0	8.8	9.0	9.1	9.4
	4	1.0	2.1	3.0	4.2	5.1	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
	Pop Type	Grade levels in science											
Before Project Year : 1965	1	.6	1.4	2.9	3.0	3.9	5.8	6.7	7.6	8.5	9.4	10.3	11.0
	2	.8	1.5	3.0	4.0	5.0	6.0	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.6
	3	.8	1.7	3.1	4.0	5.2	6.2	7.1	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
	4	1.2	2.1	2.9	4.0	5.0	6.2	7.1	8.0	9.3	10.2	11.0	12.0
After Project Year : 1968	1	.6	1.1	1.6	2.3	3.0	3.8	4.5	5.2	7.0	7.6	8.2	8.9
	2	.8	1.2	1.9	2.9	3.4	4.5	5.1	6.0	7.7	8.4	9.3	10.0
	3	.8	1.3	2.0	3.1	3.7	4.9	5.8	6.6	8.6	9.2	9.9	10.9
	4	1.2	2.1	2.9	4.0	5.0	6.2	7.1	8.0	9.3	10.2	11.0	12.0

Population types

1 Non-whites, less than 2000
2 Non-whites, more than 2000
3 Whites, less than 2000
4 Whites, more than 2000

II. The School submodel (1)

The School Submodel is similar to a production process with quality controls. The inputs of four student types (white and non-white, above and below $2,000 family income) and education resources (teachers, equipment, facilities, community environment) are transformed into better educated individuals graduates and dropouts. Inputs include Title I programs, previous school achievement and student sociological data, and specific improved achievement in the target population. Outputs are the change in numbers of graduates, dropouts, achievement levels by age or grade, and critical achievement areas.

There are five subroutines : the school flow matrix, course of study allocation, truancy, dropout and graduation (see Figure 2). The School flow matrix represents the flow of students through parallel achievement category tracks ("sub-assembly production lines") in a sequence of achievement levels within each track ("quality control checkpoints"). The achievement categories in various combinations form subjects such as math or English. The achievement levels may represent grades or promotion thresholds (where schools are graded), but in any case are prerequisite gates for further achievement in the same and in related achievement categories. Any combination of achievement categories, achievement levels, and student types may be the target area of a Title I program (See Figure 3).

The school flow matrix accepts the immediate achievement changes in a target student population resulting from an education improvement program, and propagates these "local" changes ahead in time to dropout, or to course-of-study selection and graduation. It thus converts short-term student achievement changes into long-range forecasts of changes in the number of dropouts and the number and quality of graduates.

This extrapolation of subsequent achievement changes indirectly caused by a local direct change is accomplished by means of a network of related nodes, each node representing a subject-grade cell in the entire curriculum matrix (see Figure 4).

Individual subject-grade failure interdependencies in the curriculum matrix, such as the probability of a student failing fifth-grade science if he has failed second-grade reading for example, have been derived from several hundred student records of multiple failures. In a significant percentage of the cases examined, failures (achievement gaps) "spread" from one or a few subjects to additional subjects downstream (see Figure 4). Given at least some indicative statistics on the relationship of failures in one grade and subject to another, we reproduce this indicative relationship in the school flow matrix to propagate the effects of early failures, and correspondingly to propagate the reductions in early failures resulting from Title I improvement programs in terms of reductions in later failures, dropouts, and low achievers.

At the eighth grade achievement level of the school flow matrix, the course of study selection routine is usually triggered. Students are allocated to college prep, clerical, general, or vocational high school courses of study, depending on their achievement levels and the entry requirements.

Truancy and absence rates are computed at all achievement or grade levels on the basis of external attitudinal and past achievement data. Dropouts are computed on the basis of past achievement, absences, attitudes, and community factors. Graduates are computed on the basis of achievement at the final level or grade, and graduation criteria. Finally, critical achievement areas, in terms of age/grade and subject and population, can be identified by iterated runs of the school flow matrix under various conditions. These subroutines are described below.

(1) Designed principally by C.C. Abt and J.C. Hodder.

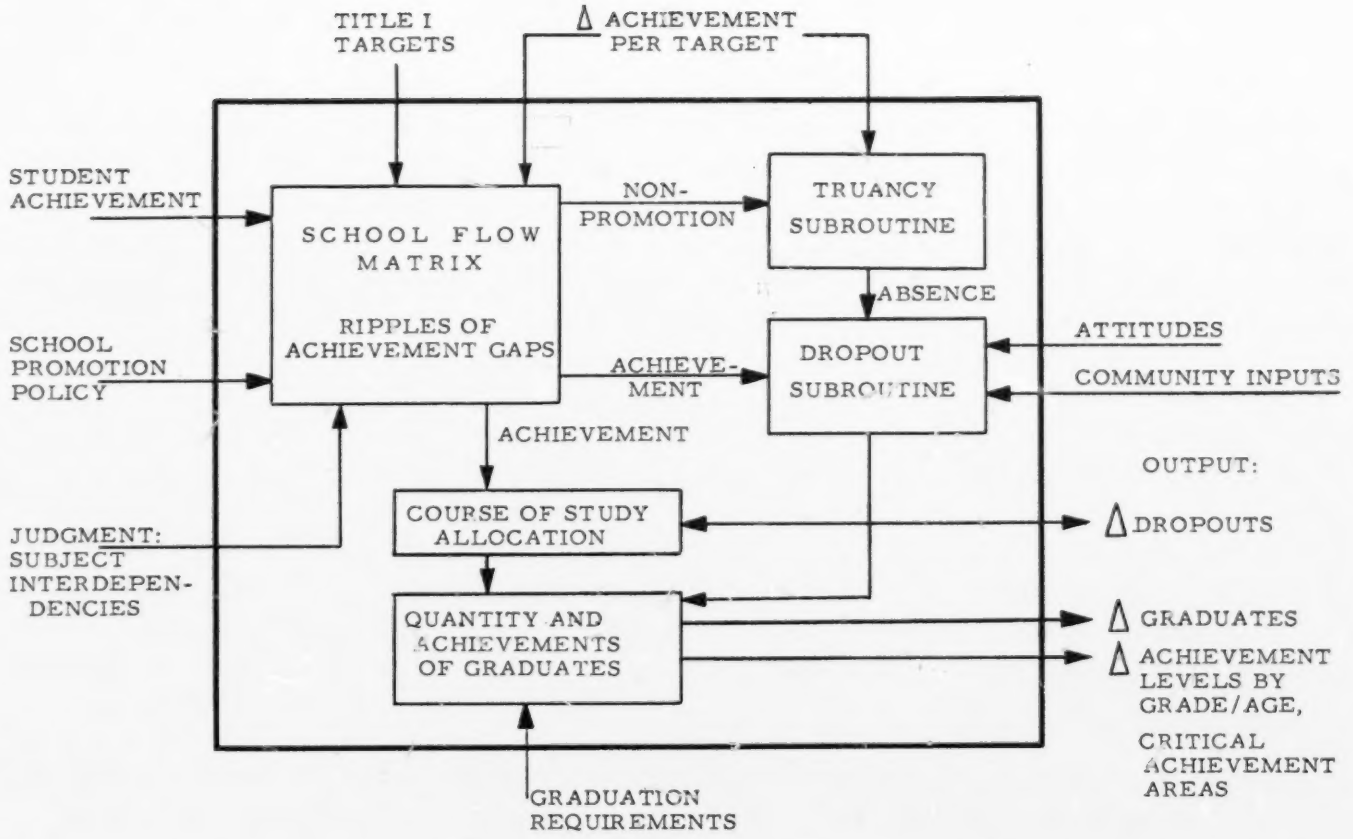


FIG. 2 School Submodel

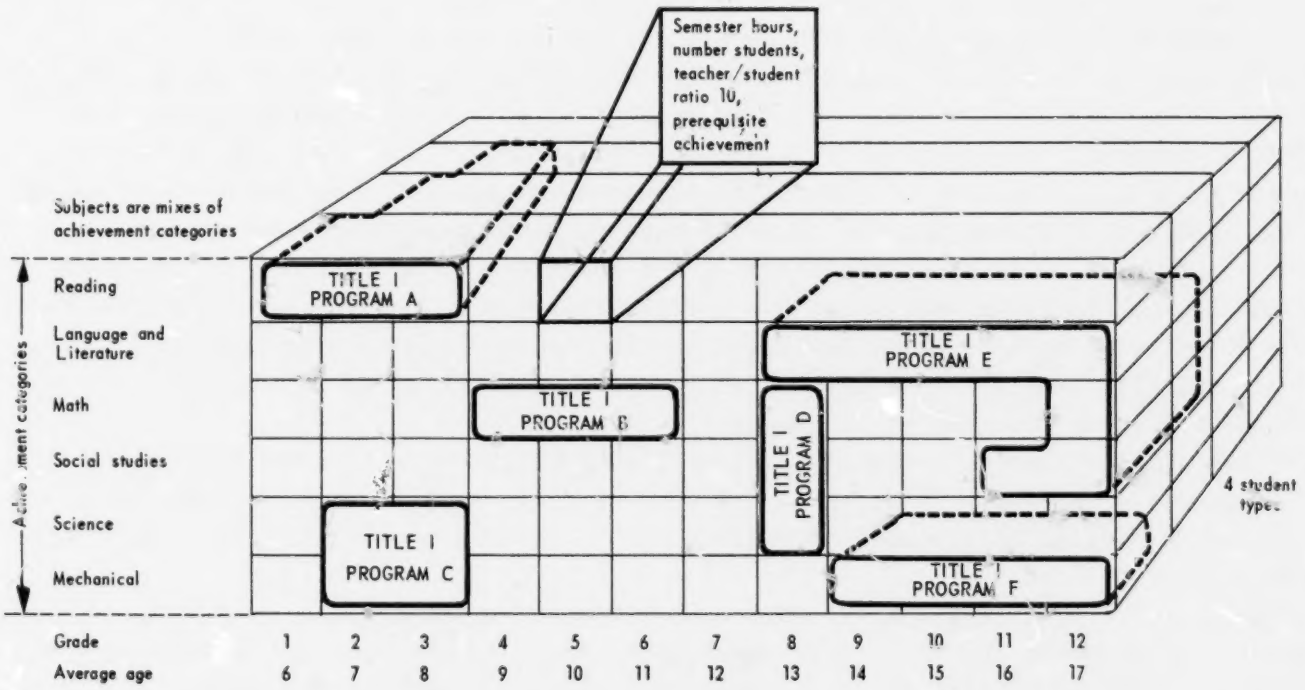


Figure 3

TYPICAL TARGET STUDENT POPULATIONS IN THE SCHOOL FLOW MATRIX

Curriculum Matrix

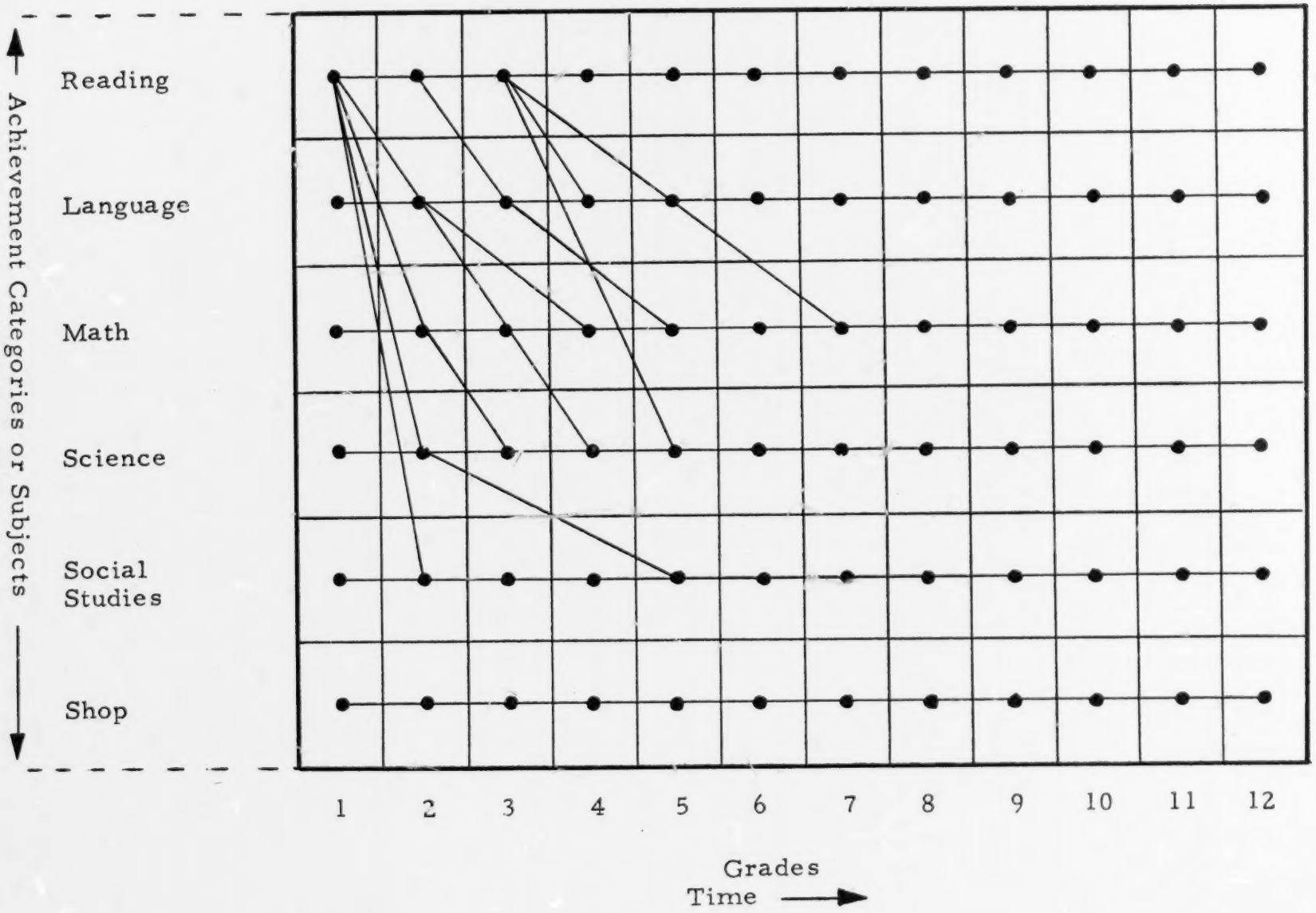


Figure 4 The Shadow Cast by an Early Achievement Gap

Course of Study Selection Subroutine

Early in his high school years the student may choose a course of study designed to prepare him for college, for commerce, or for the vocations. Some students develop their curricula within these courses of study while others select a general course of study. The "Course of Study Selection Subroutine" indicates changes in apportionment of students among the courses of study (See Figure 5, below).

Students are allocated among the courses of study by reconciling the demand for each course of study with the supply of openings in that course of study. The student choices are made from a list of those courses of study for which he has the required record of achievement.

The student eligibility and preference for a course of study are based upon his characteristics. Howevern restricting the definition of student types to the average (mean) of the distributions of characteristics precludes simulating the process by which the various individuals within a student type select different courses of study. Therefore, it is necessary to distribute the characteristics which determine eligibility and preference along a distribution the shape of which is a judgmental input.

The minimum standards for eligibility are expressed in terms of required minimum levels of previous student achievement. The allowed student choices are those for which the student, generated from the distribution of characteristics for the student type, meets the minimum requirements. A list of allowed courses for that student is thereby created.

The student makes his actual choices, from this list of allowed choices, upon the basis of his attitude toward education. The course of study which is most compatible with the student attitude toward education is chosen.

The choices of individual students are aggregated to determine the total demand for the available openings in each course of study. A check is made to determine if the demand for any course of study is greater than the supply, the excess demands are eliminated by allocating the appropriate number of students among the unfilled openings according to their second preferences for allowed choices. An output report is generated when there is unfilled demand.

After supply and demand have been reconciled, or if the demand does not exceed the supply for any course, the changes in the apportionment of students among the courses of study is determined, by comparing the Title I apportionment with the historical apportionment.

The Truancy Subroutine

The truancy subroutine computes an index of truancy for the grades 9 - 12. The truancy index is used to compute dropouts. The following findings summarize the elements considered in our model of truancy.

A study of truants (1) studied 338 truant students in San Francisco. Sixty percent of the students were boys. Their I.Q.'s averaged below normal. Average I.Q. for their schools were 100; their curve 95 (range 43 - 153). Student had low opinions of self, felt isolated.

School — 53 % of students were in junior high school
17 % elementary
30 % high school
70 % had been left back at least once and were below average
All achieved an average of C grade or below .

(1) John L. Roberts, "Factors Associated with Truancy", Personnel and Guidance Journal, March, 1956, pp. 431-436.

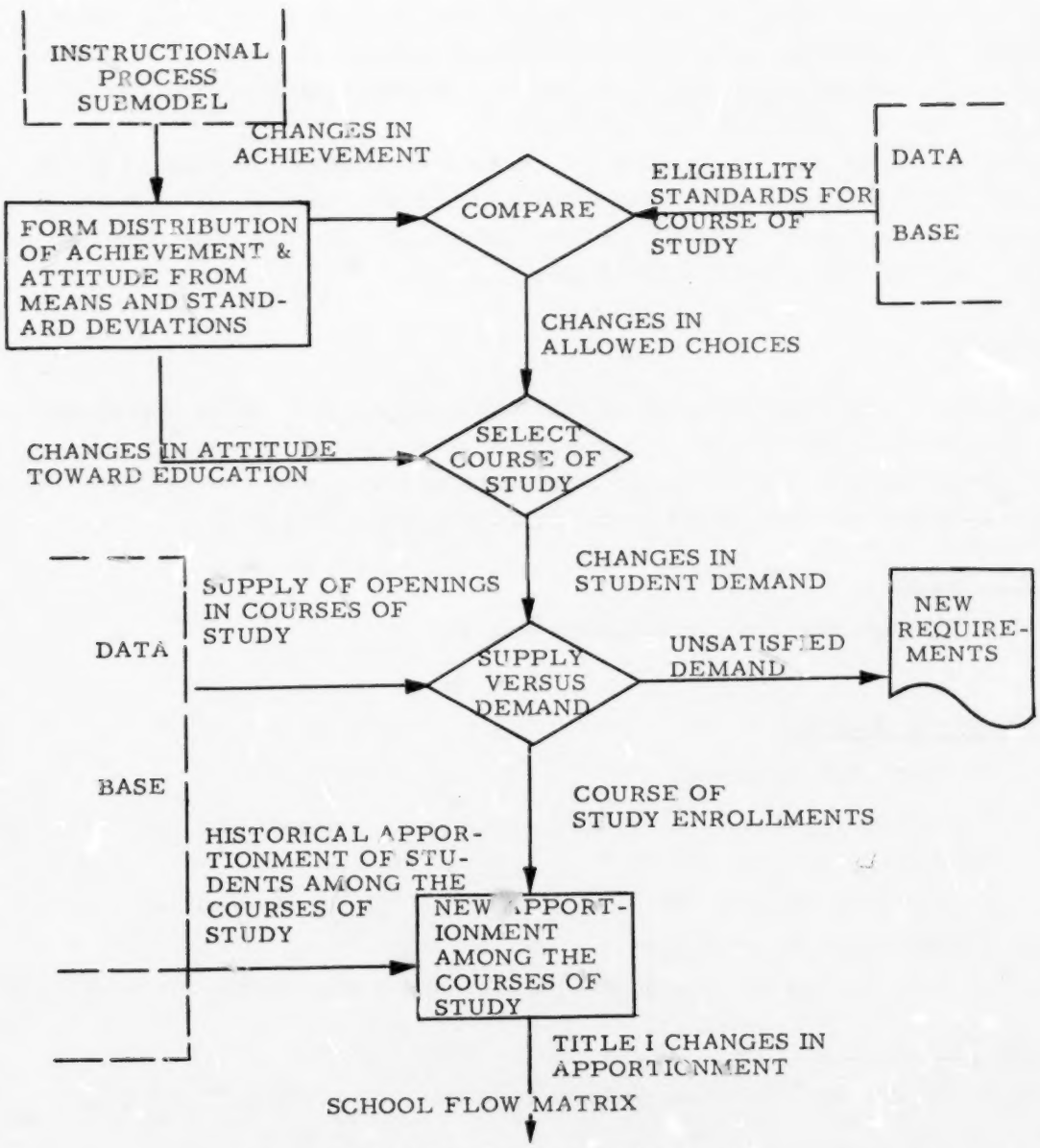


Figure 5 Course of Study Selection Subroutine

Home 45 % of the students came from disrupted or broken homes
50 % of families received public assistance.

Both this study and a British one (1) agree that the truant's family situation is poor economically and interpersonally. The school situation is poor : the student performs below average grade-wise and has been left behind. He responds by being out of school approximately 3 times as often as the non-truant.

Figure 6 below shows the interaction of factors considered in computing the index of truancy. The factors are weighted and combined into an index of likelihood of a change in truant behavior. The index is compared to a threshold and will determine the actual change passed along to the Dropout subroutine.

Dropout Subroutine

The change in dropouts as a result of the application of a Title I program is computed for each of the grades between 9 and 12 for each of the student types. The change is basically the difference between the historical dropouts who attended the school affected by Title I, and the dropouts anticipated from the school after Title I.

Research Findings

The chief variables pointing to dropouts are :

Home

1. Family of Dropout

a. Dropout rate of parent

One study revealed that 78.5 % of mothers dropped out. 80.3 % of fathers dropped out.
Majority of parents had completed 9th grade or less (2).

b. Dropout rate of siblings
58 % of dropouts come from families where all brothers sisters dropped out (3).

2. Occupation of Parent

Majority of parents of dropouts were unskilled or unemployed (4).

3. Divorce Rate in Family

Many dropouts come from broken homes.

School

4. Reading Competency

Ruth Penty (5) studied 1169 ninth graders entering 10th grade - 593 in poorest quartile and 593 in top quartile as readers. (Poor readers ranged 4.3 - 6.9 on reading test per grade level).

---

(1) Maurice J. Tyerman, "Research in Truancy", British Journal of Educational Phychology, November, 1958, pp. 225-229

(2) Percy V. Williams, "Dropouts", NEA Journal, Feb., 1963, 11-12

(3) Eli E. Cohen, "The Dropout Problem. A Growing Educational Concern", National Association of Secondary School Principals Bulletin, April 1961.

(4) Morris Williams, "What are the Schools Doing about School Leavers", NASSP Bulletin, XXXVII, 1953, p. 54.

(5) Ruth C. Penty, Reading Ability of High School Dropouts, New York, Teachers' College, Columbia University, 1956.

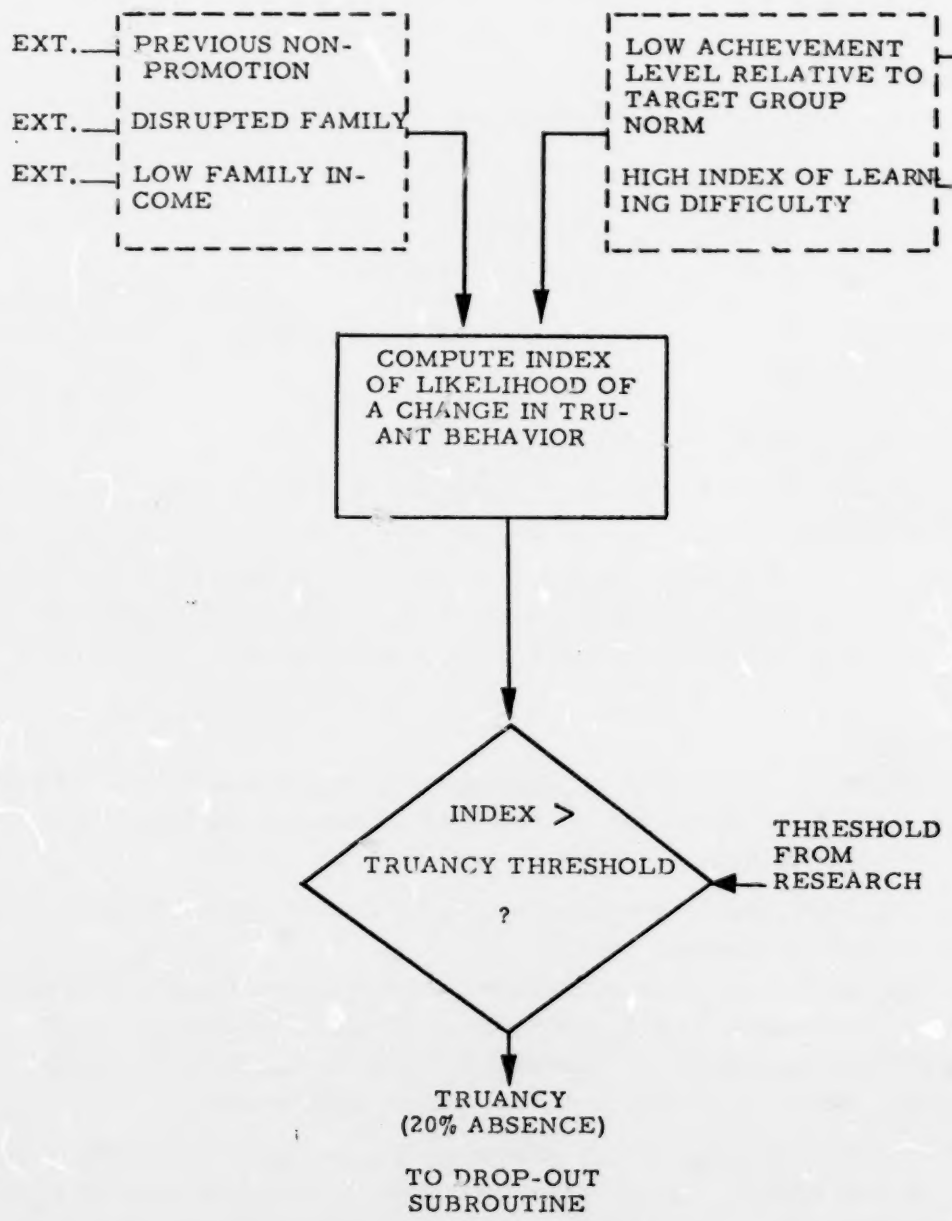


Figure 6 Truancy Subroutine

49.9 % of the poor readers and 14.5 % of the good readers left school in the 10th grade.
45.5 % of the poor readers graduated as compared to 81.2 % of the good readers.
Dropouts peaked in 10th grade.

5. Failure in Academic Subjects

Most dropouts are failing.
Most failures occur in 1st, 2nd and 9th grades.

6. Dropouts Do Not Participate in extra curricular school activities.

85 % rated low in participation
60 % isolated (1).

7. Attendance

More truancy and more long periods of absences in dropout than graduate history.

8. Transfer

Many dropouts transferred from other schools.
More transfers than in graduate population.

9. Dropouts has few friends in school, associates with older youngsters and does not feel he belongs.

Variables not important between dropouts and non-dropouts

I.Q. - Penty study showed median I.Q. of dropouts average - not significant difference from graduating groups (2).

Figure 7 below shows the interaction of the basic factors used in the model. Community characteristics describing the economic advantages available in the community are compared with student attitudes and behavior to predict the change in dropouts.

Graduation Computation

The expected change in the number of graduates to be expected from increased academic achievement in the Title I target group is computed in the graduation subroutine. Several historically derived sets of data are used :

1. The numbers of last year's graduates who were previously enrolled in the target population school by student type.
2. The set of minimum acceptable achievement levels by category for graduation.
3. The number of students directly affected by Title I by student type.
4. The propagated achievements of the target group in the twelfth grade.
5. The (changed) number of dropouts in the target population.

The expected change in the number of graduates due to Title I is then computed by substracting the new and reduced (post-Title I) number of dropouts from the target population, and then commuting that part of the remainder that meets the minimum scholastic achievement levels required for graduation on the basis of its post-Title I propagated achievement levels.

---

(1) Livingston A. Hugh, "High School Graduates and Dropouts, A New Look at a Persistent Problem", School Review LXVI (1958) 195-203.

(2) Bert I. Greene, Eastern Michigan University's Work Shop on the Dropout, Eastern Michigan University, 1963.

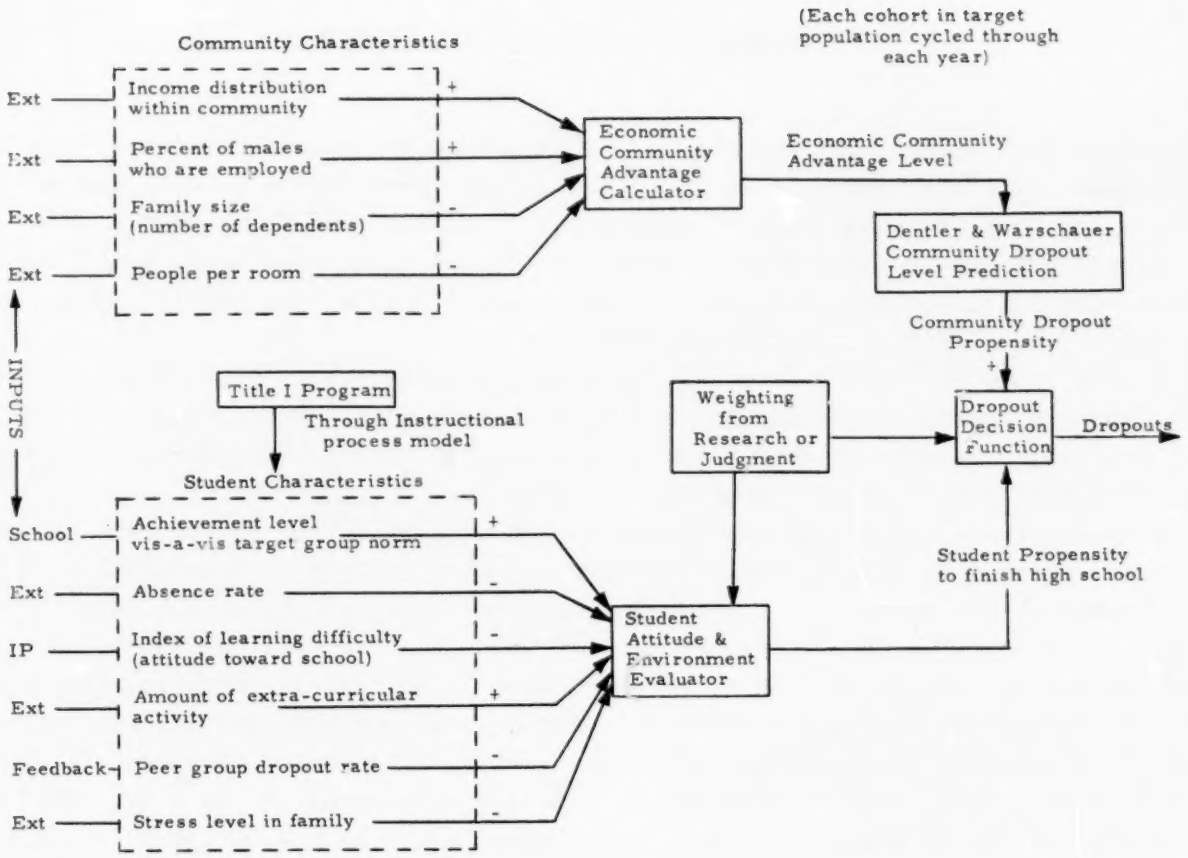


Figure 7 Dropout Routine

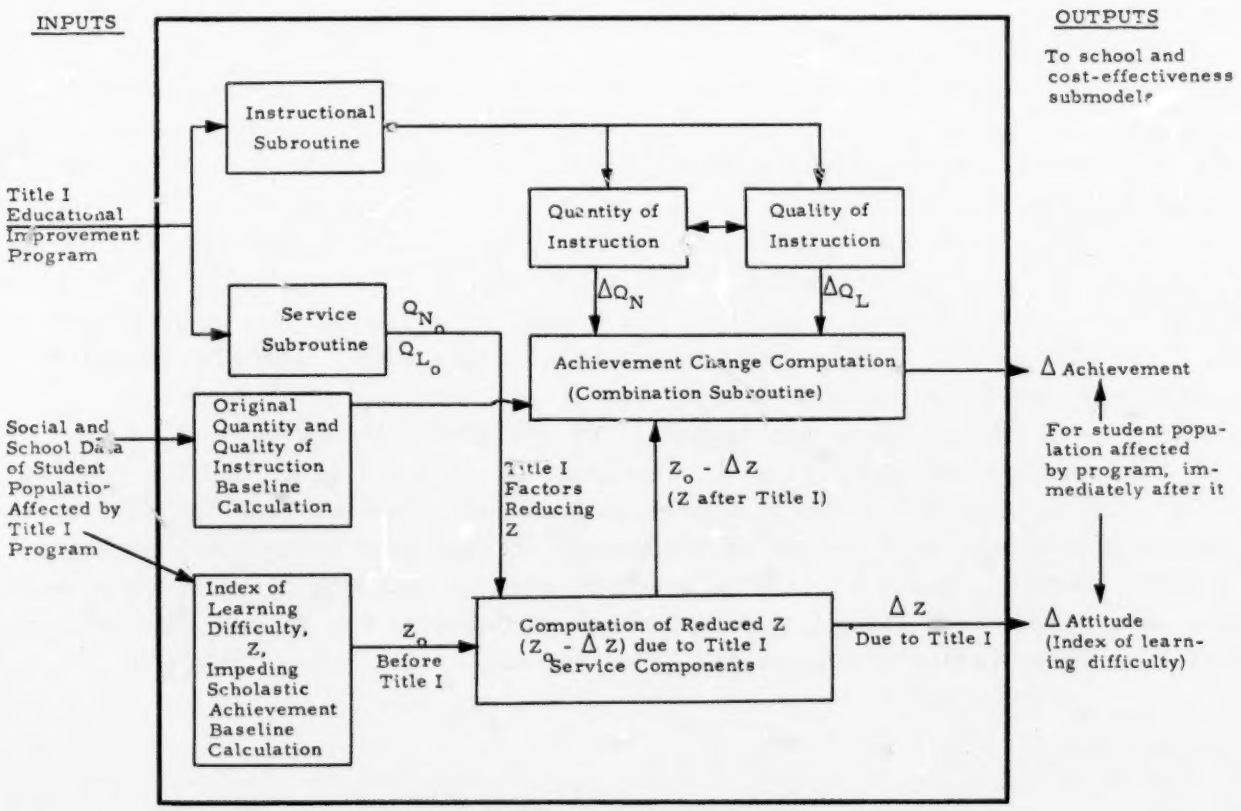


Figure 8 Instructional Process Submodel

III. The Instructional Process Submodel (1)

The immediate achievement changes in the target student population resulting from Title I educational programs must be predicted and provided to the school flow matrix in the School Submodel, so that these changes may be propagated "downstream" in time to forecast expected changes in the number of dropouts and the number and achievement levels of graduates. The immediate target population achievement changes due to Title I are computed in the Instructional Process Submodel (See Figure 8).

The Instructional Process Submodel computes estimated expected academic achievement and attitude changes from the changes in the scholastic environment wrought by the proposed Title I project. This overall scholastic environment is decomposed into its instructional and service (socio-physical environmental) components.

The instructional component subroutine of the overall school environment is expressed in terms of the changes in the quality and the quantity (intensity and duration) of classroom instruction. The quality of instruction is given index values on the basis of such objective and measurable factors as teacher job turnover, use of substitutes, education and experience, and degree of recency of curriculum materials. In addition, there are interaction factors affecting the index of instructional quality, such as the increased criticality of teacher quality when curriculum quality and recency is poor. The significance of these interaction factors is weighted by model user judgment, or in a way corresponding to the amount of the variance accounted for by them in the 1966 U.S. Survey of Equality of Educational Opportunity.

The quantity of instruction consists of its intensity and duration, giving a measure of overall exposure. Intensity is measured by teacher-student ratio and equipment (books, desks, aids, etc.) per student.

The service component subroutine deals with those aspects of programs intended to reduce the environmental impedances to scholastic achievement, such as school lunch programs. Some of the environmental impedances considered include low family income, physical handicaps, uneducated parents, disrupted family life, low individual achievement, and low peer group achievement levels. These are aggregated into an overall index of learning difficulty, or target-population-specific impedance, Z. The reduction in Z is calculated on the basis of the individual Title I program's service components' reduction of the environmental impedances. A baseline calculation subroutine accumulates the target student population's achievement and impedance characteristics before the Title I program.

Student achievement change due to the Title I educational improvement program is then computed in a combination subroutine, on the basis of quantity of instruction multiplied by quality of instruction, all divided by the new (reduced) index of learning difficulty. This achievement change only refers to the period of time over which the educational improvement program operates, and the subjects areas covered by it. This "local" achievement changes must be propagated to later grades and other subjects in the school submodel, before the impact on dropouts and graduates can be estimated.

---

(1) Designed principally by S.A. Bornstein and J.C. Hodder.

IV. The Community Submodel (1)

The Community Submodel as it now stands consists of two independently operating subroutines which convert Data Base information, Instructional Process Submodel attitudinal and School Submodel achievement data into indicators of lifetime earning potential and equality of educational opportunity. These outputs were selected on the basis of presumed interest to Title I evaluators. Present and past values for these outputs for a particular community can be readily determined; the Title I evaluator's concern is the predicted future values which incorporate both Title I inputs, tracing their community effects, and extrapolated community trends contributing to a change in these indicators relatively independent of Title I.

For long-range planning it would also be desirable to cycle these outputs back through the community to see how they affect the School and the Instructional Process. A complete full-scale working model of the community would perform such desired functions. However, data gaps and the absence of systematic research findings on the majority of the many components of a complete Community Model leave too much to speculation (2). The current Community Submodel represents the alternative of higher reliability on a much more limited scale. The two criteria for selection were relative reliability; i.e., areas in which extant research has at least pointed the direction of relationships, and interest for immediate Title I evaluation needs (See Figure 9 below).

The main implication of the first Base Line Run for the Community Subroutine logics is the establishment of threshold values; this is the "tuning" of the submodel. Once these threshold values are established, the Model is run with the projected Title I program inputs. Resultant changes in Instructional Process achievements and attitudes are passed on to the Community subroutines where they are combined in various ways and tested for threshold value. The result is a set of projected propensities for community effects on the part of the target population. The changes resultant from the particular Title I program being evaluated are obtained by substracting the Baseline Run outputs from Title I Program outputs. These effects are computed independently of other changes due to extensions of current community trends or exogenous inputs other than Title I. Hence the outputs are in terms of tendencies rather than predictions of specific behavior, which would have to incorporate these non-modeled effects.

Earning Potential Subroutine

The Earning Potential Subroutine estimates the impact of any proposed Title I program upon the average lifetime earnings of the target population. It predicts on the basis of course of study selection (Academic, Commercial, General, Vocational), achievement level in school, and graduation/dropout statistics, that occupational class (Business/Professional, White Collar/Clerical, Skilled, Semi-Skilled, Unskilled) in which each of the distinguishable student groups within the model will earn a living (Figure 10) from this prediction, and from correlation study data relating occupational class with expected lifetime earnings, a rough figure for average lifetime earnings of the model population is computed. Comparing average lifetime earnings figures from the baseline run and the run with Title I programs, and index of change in Community Earning Potential is produced; i.e., large increase, increase, no change, decrease, large decrease (Figure 11).

---

(1) Designed principally by S.J. Fitzsimmons, L.J. Cutrona, H.J. Kinley and R.E. Glazier.

(2) This finding is based on a full-scale theoretical modeling effort carried out earlier in the history of this project. The results of this feasibility study are nevertheless generally favorable, given the possibility of a larger scale effort with an associated research program.

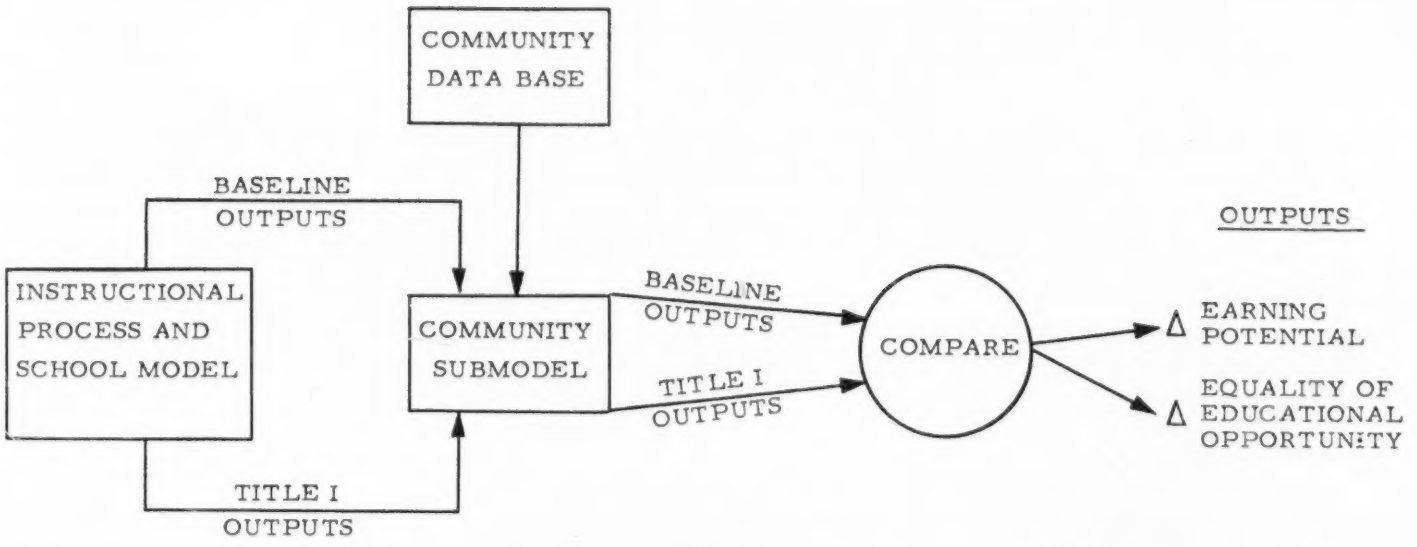


Figure 9 Community Submodel

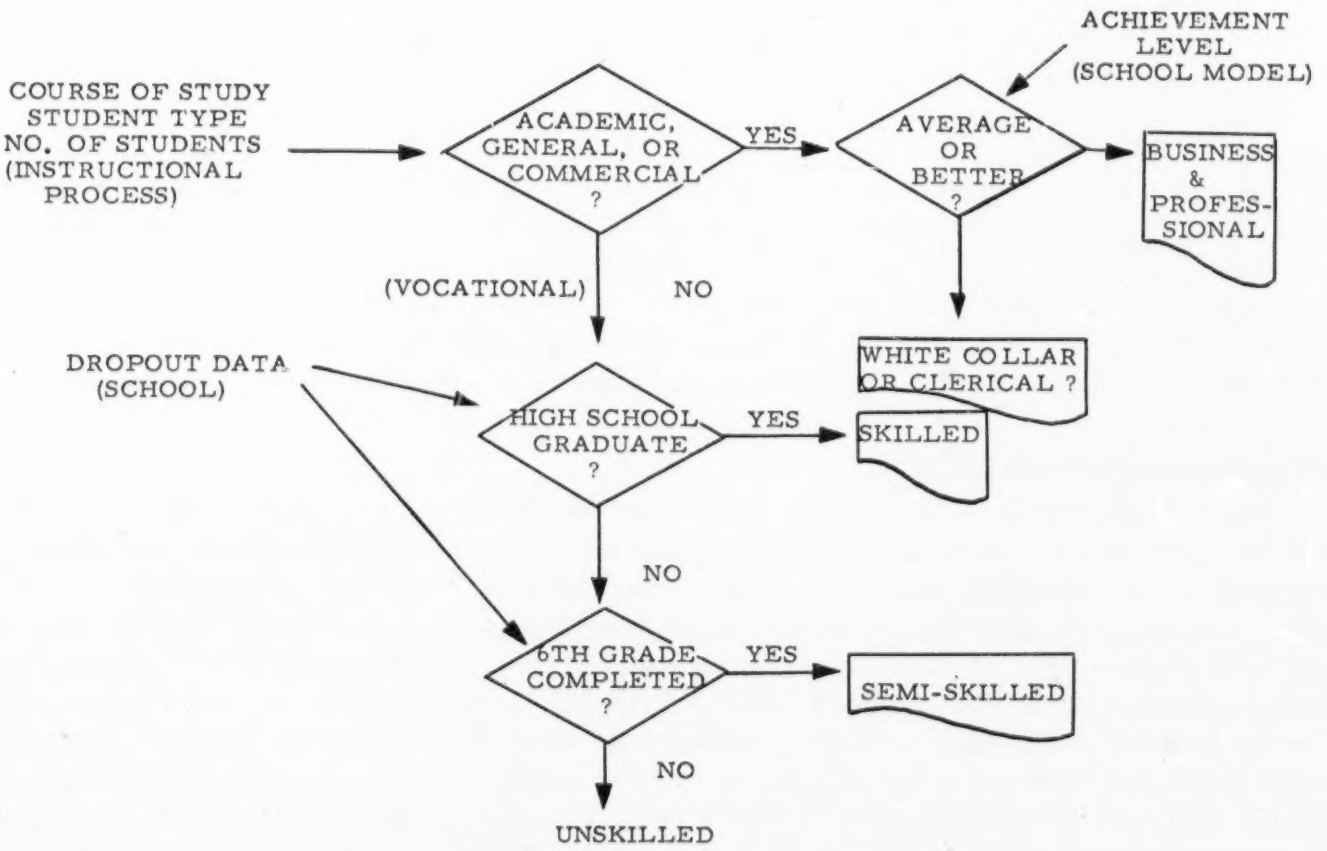


Figure 10: Earning Potential Subroutine

Equality of Educational Opportunity

A major aim of Title I is to equalize educational opportunities throughout the U.S.A. Since "opportunites" themselves are difficult to measure directly, this subroutine design utilizes Coleman's (1) logic in deriving an indicator of the quality of educational opportunity (see Figure 12 below). Coleman argues that inequalities of educational opportunity exist where scholastic achievement scores are correlated with socio-economic level. Where equality of educational opportunity is high, there would be no correlation with social origin (measured by income and race in this model).

This subroutine computes a mean achievement score for each of the four pupulation groups, based on data from the School Submodel. It then computes the average for the distribution of means. If the range of the means about the average mean is small, a high degree of equality of educational opportunity is indicated, and the opposite is shown by a large range.

V. The Cost Submodel(2)

In order to assign meaningful cost-effectiveness weightings to a proposed Title I program, the Cost Submodel has been developed. This model is designed to compute the total cost of a Title I program, including both direct and indirect expenditures required for the program. Actual average costs of large-scale direct requirements, such as reading machines, teachers' salaries, salaries of health personnel, audio-visual equipment, etc. will be sorted in the data base of the model for every Title I program which the model will be able to handle.

In addition, costs of supporting requirements, such as an empty classroom and additional administrative personnel oftentimes available within the school system itself, though not necessarily taken into consideration by the user, will be stored with each program package. Hence, when a Title I program is introduced into the Cost Model, not only its direct requirements, but also its supporting requirements will be examined. As illustrated by Figure 13, the model will compare current resources available in the school with their utilization rate, to arrive at an evaluation of resources available to fulfill supporting requirements for the Title I program. Thus, when the cost computation is executed, total cost of the project is obtained, not just the obvious cost of the major portion of the program in question.

The methodology to be used by the Cost Submodel in determining this total cost figure is outlined in Figure 14. Both direct and indirect purchases required for the program package are listed, including both the initial expenditure required for the first year of operation and the discounted present value of the future costs where applicable. These costs are printed out for the benefit of the user according to the format in Figure 15. Total cost of the package is also sent to the cost-effectiveness submodel as an input to be used in calculating relative cost-effectiveness measures.

---

(1) James Coleman, "Equal Schools or Equal Students", The Public Interest, Volume 4, Summer, 1966.

(2) Designed principally by M.O. Rosen.

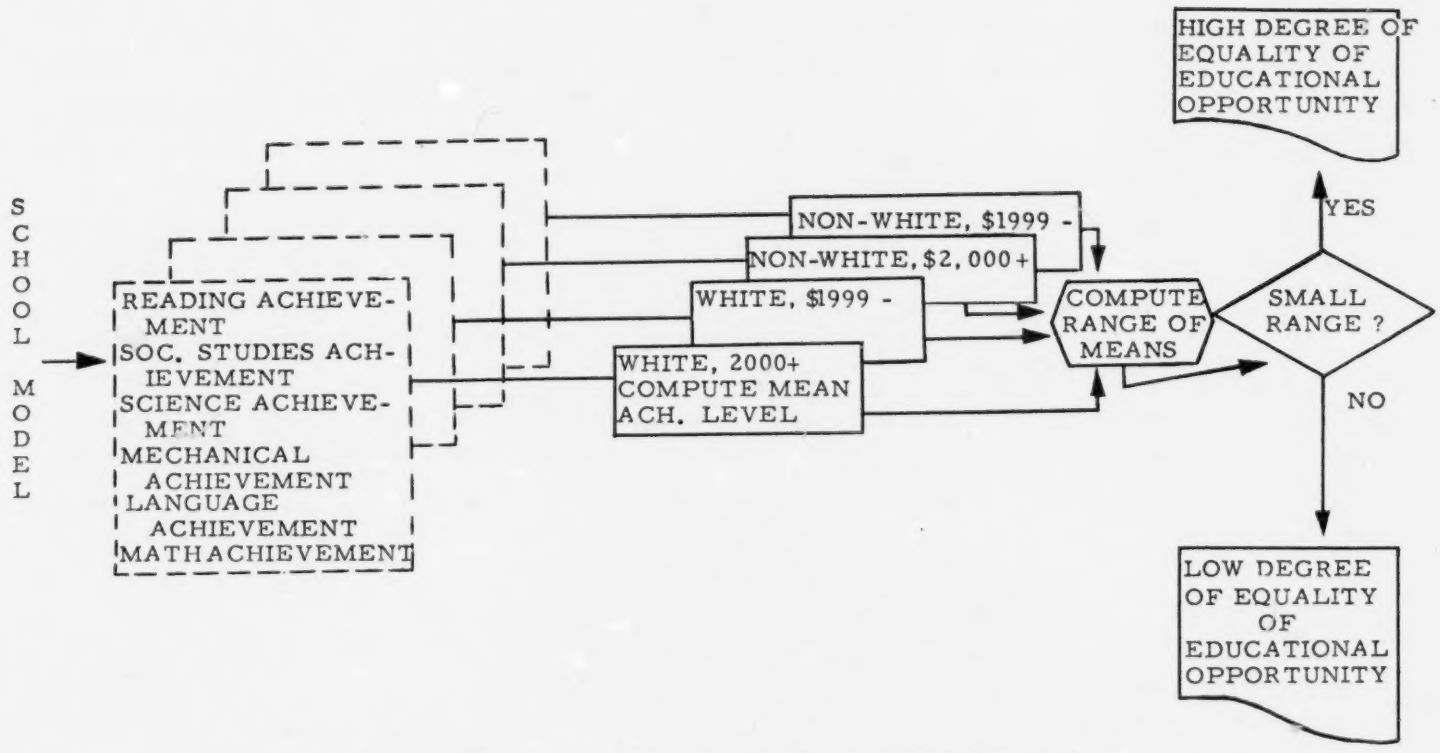


Figure 12 Equality of Educational Opportunity Subroutine

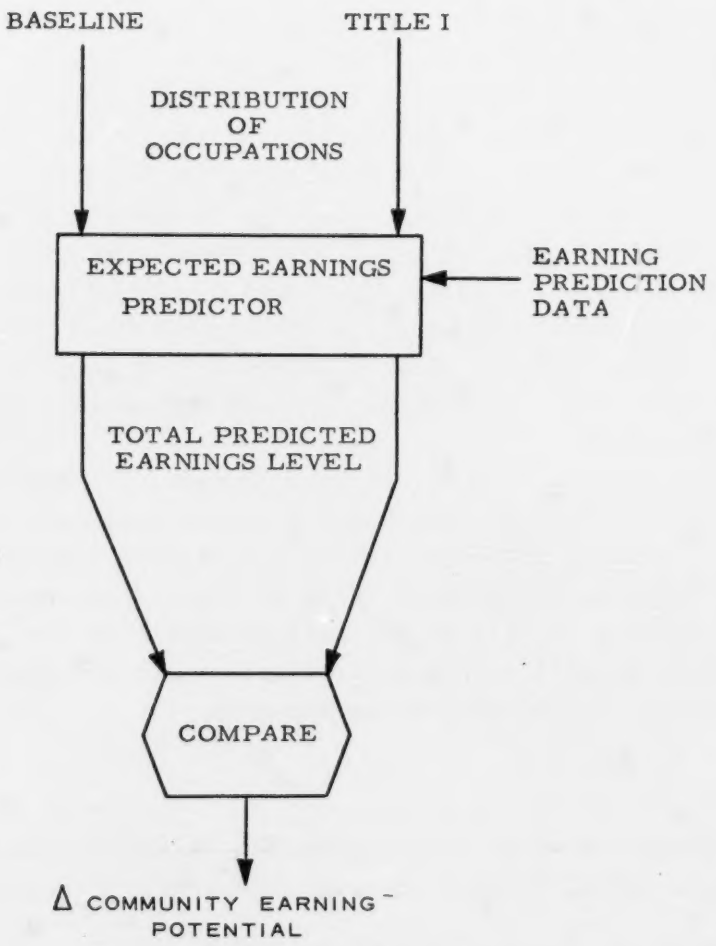


Figure 11 Translation of Occupation to Income

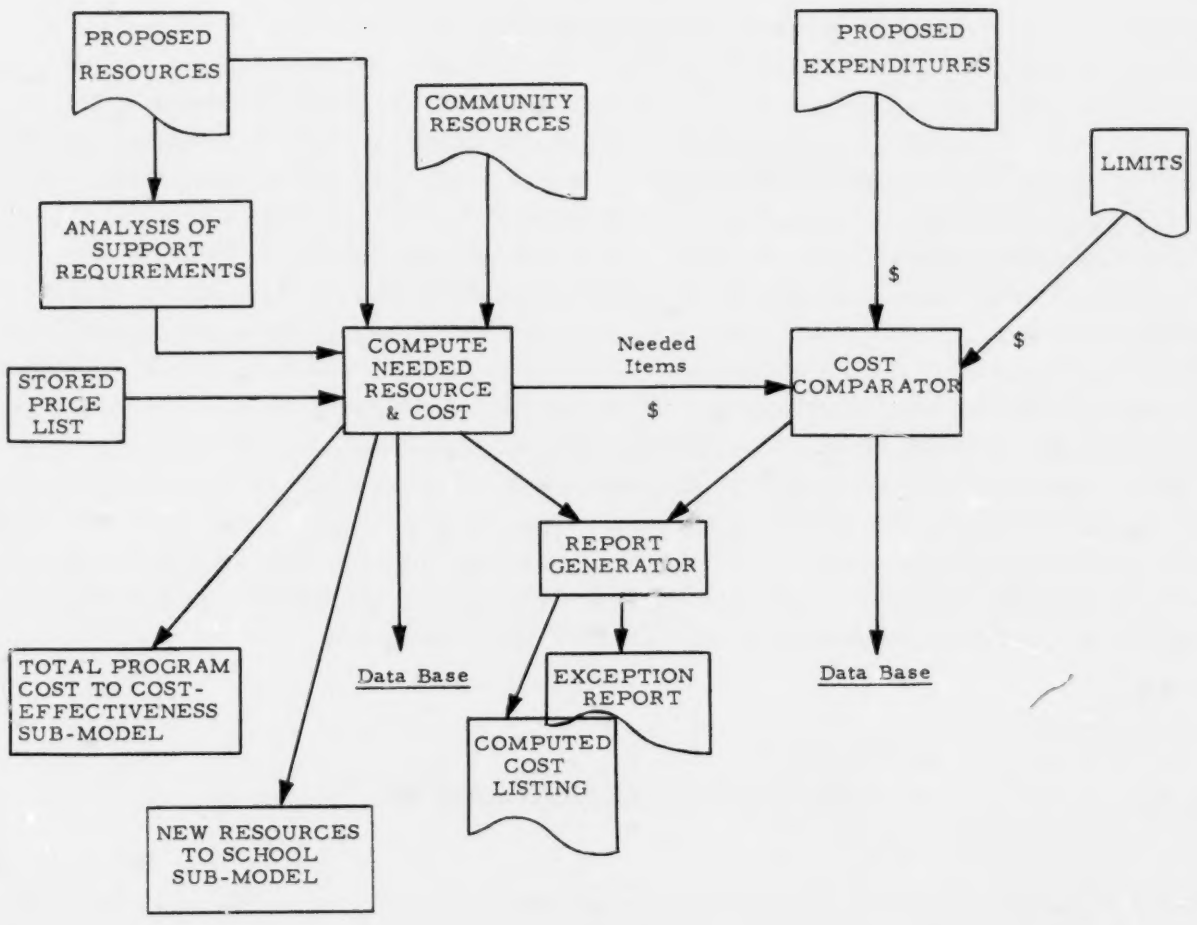


Figure 13 Cost Submodel

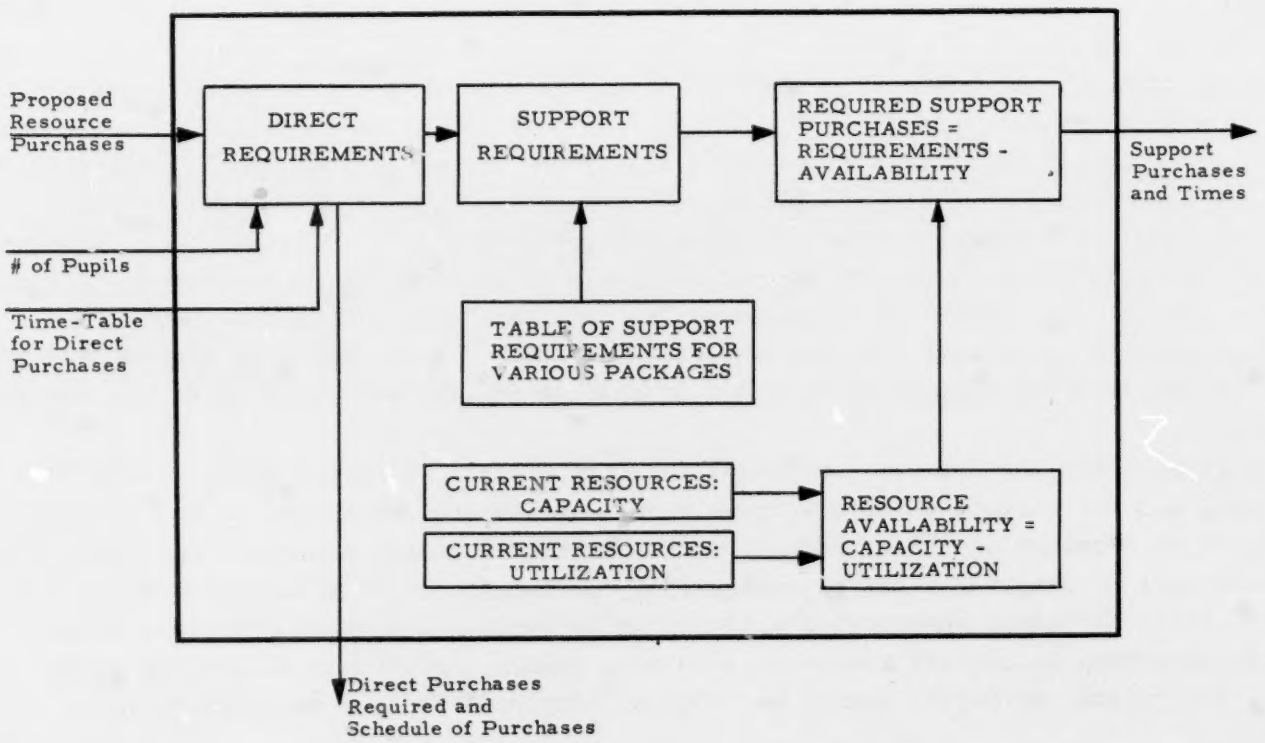


Figure 14 Analysis of Support Requirements

Once the total cost of the program has been determined, this cost estimate will be compared with the cost estimate prepared by the user in those cases where he has already estimated the cost of the project, and discrepancies between the two estimates will be listed for the user. In addition, the total cost of the program will be compared with the total supply of funds available for the project, and if the cost estimate exceeds the expenditure limit, the computer will stop and indicate this fact to the user (See Figure 16). Both of these diagnostic routines serve as a check to the user when the cost of the program is significantly greater than the amount of money he had originally planned to expend.

The Cost Submodel is integrated with both the Instructional Process and School Submodels. The program package being evaluated is fed into the Instructional Process Submodel after its characteristics are translated in a series of descriptors able to be processed by the Instructional Process model. The School Submodel receives the new resources which the Cost model indicates are required to execute the Title I program in question, and updates the data base accordingly. The School model also supplies the Cost Submodel with the number of students included in a particular target group selected by the user as the recipients of the Title I program, thereby allowing the Cost Submodel to determine the quantity (and thereby costs) of resources required in any given Title I program.

VI. The Cost-Effectiveness Submodel (1)

The overall model will simulate particular school districts and their output in terms of student changes and community impacts. This simulation is done, in particular, by the School submodel, the Instructional Process submodel and the Community submodel. The Cost submodel determines the costs of the various Title I inputs and the on-going school expenses. The Cost-effectiveness submodel receives the outputs of these four submodels and the updated data base, and provides an output for the user indicating relative educational cost-effectiveness, or efficiency.

Figure 17 shows two kinds of outputs which are generated by the simulation. If we operate the model without any Title I programs (the base run), the output will be in terms of pre-Title I levels of student achievement levels and community impacts. These pre-Title I levels are important for testing the model and tuning the judgment parameters in it.

After making the base run, the simulation is operated with a proposed Title I program. The output of this run will be another set of levels of student change and community impact, but these are not very useful by themselves. The only way to determine the impact of a Title I program is to compare the base run with the Title I run. Thus, the second kind of output derived from the simulation is a set of changes (or deltas) for each of the variables of interest.

Figure 18 shows the changes (Δ) resulting from Title I programs derived from the simulation, and the outputs which are drawn from them. We are interested in the effects which occur as a result of the introduction of the Title I input, and what they cost. However, this sort of output may not be very useful for comparison of alternative Title I programs, since different resources are likely to be used by different programs. It is therefore necessary to convert resources into some common unit; the most obvious being dollars. The effect per dollar change may then be computed. For the same reason it is

---

(1) Designed principally by P.S. Miller.

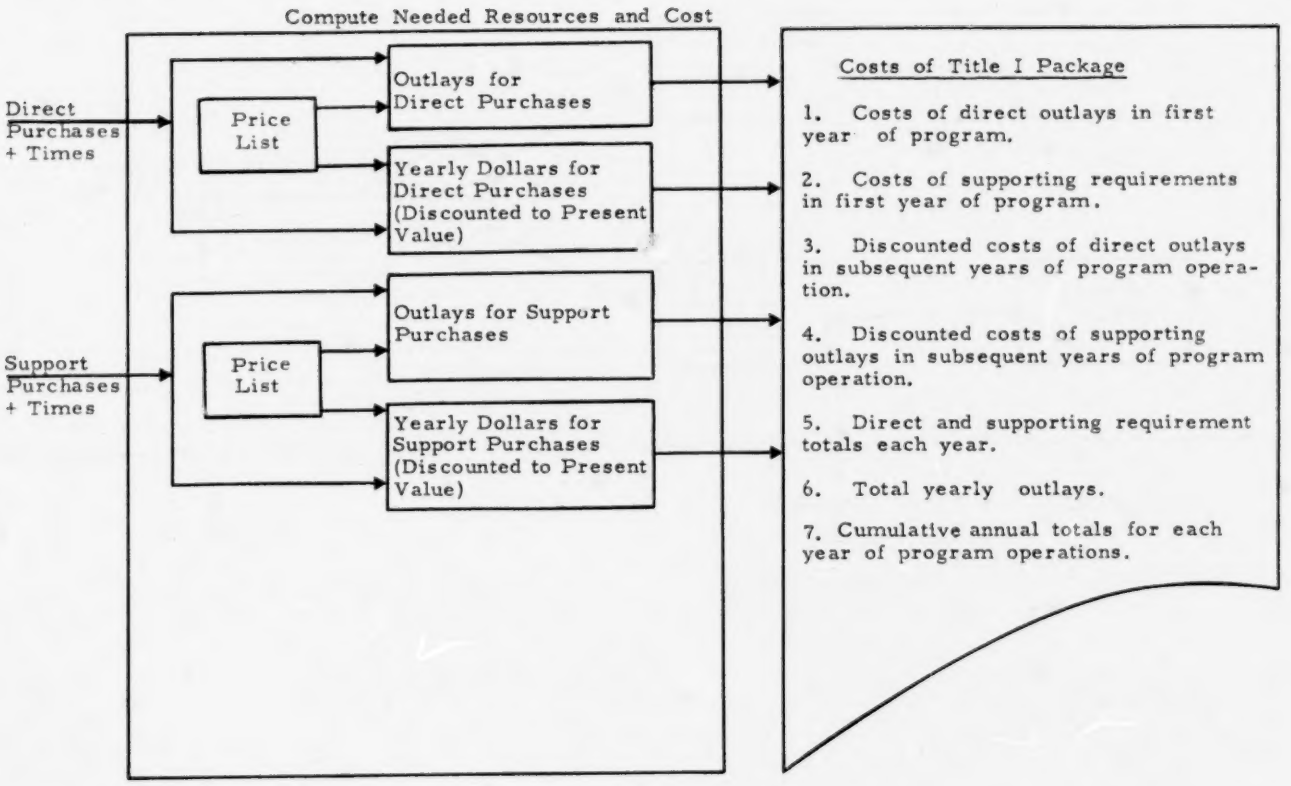


Figure 15 Total Cost Computation

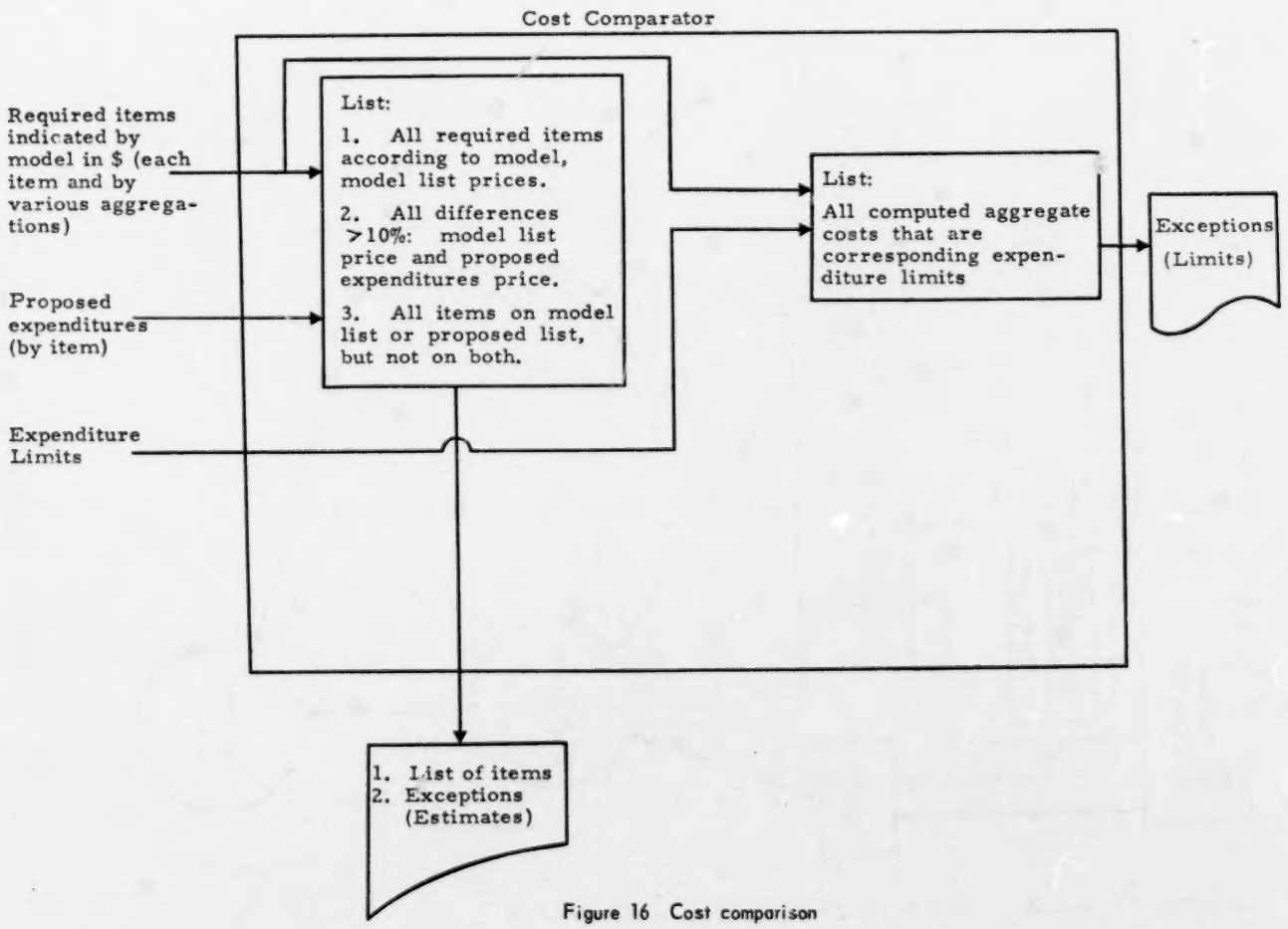


Figure 16 Cost comparison

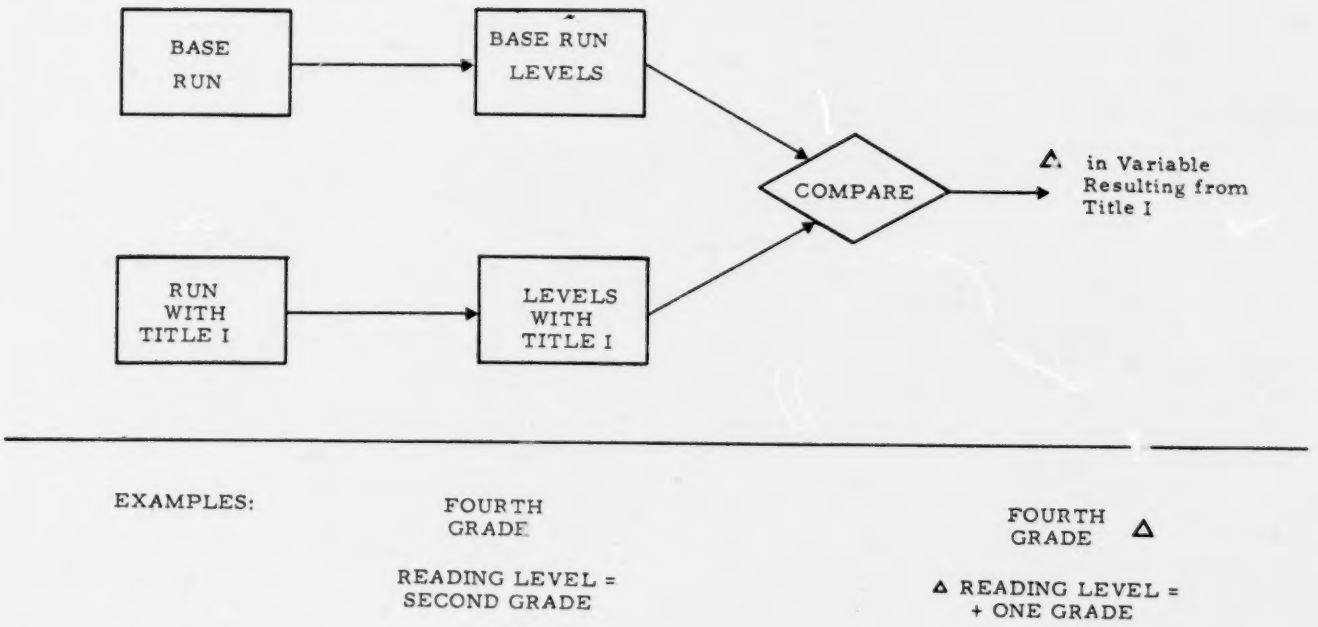


Figure 17 Simulation Results

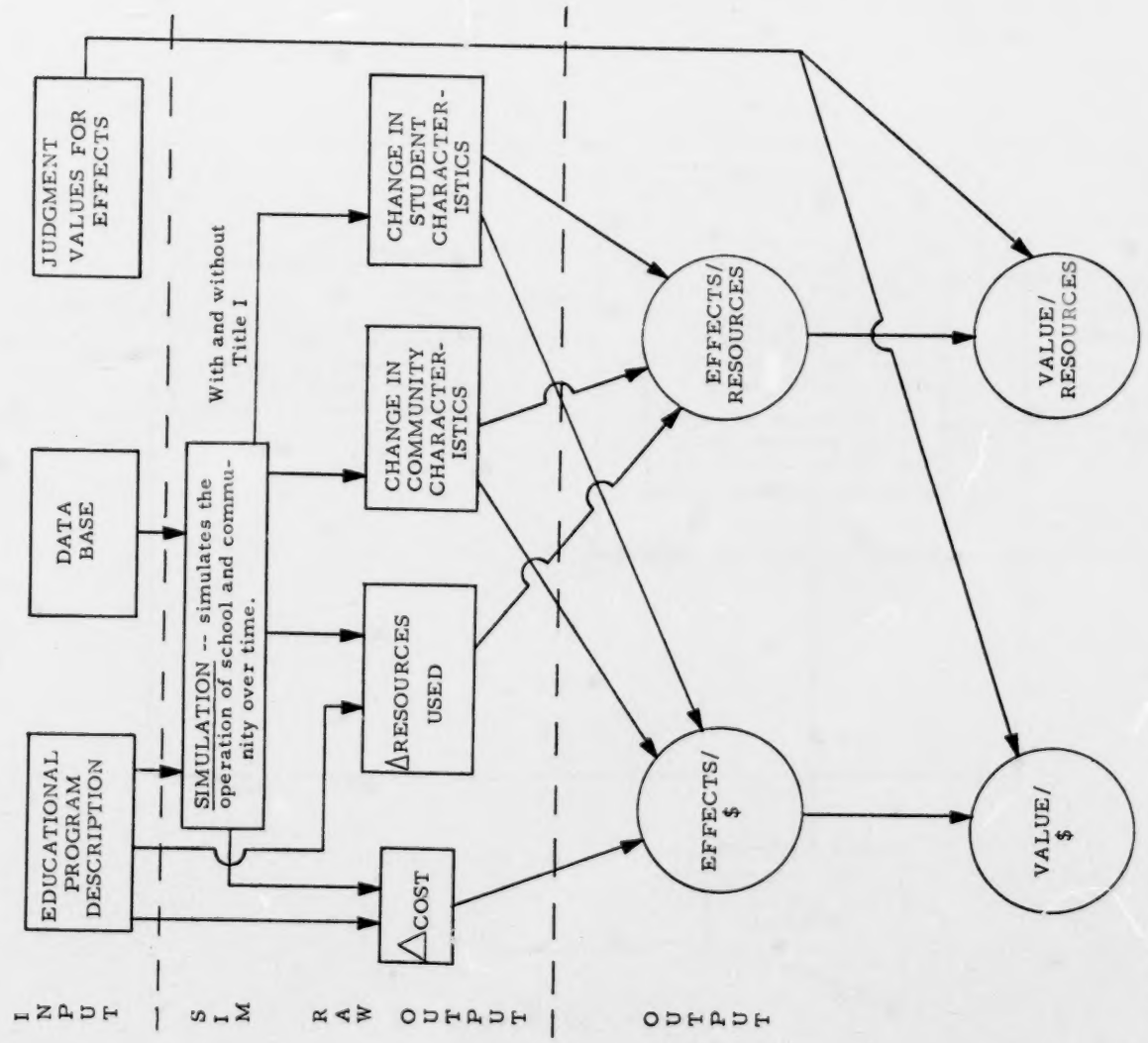


Figure 18 Outputs from the Simulation

DATA PREPARATION

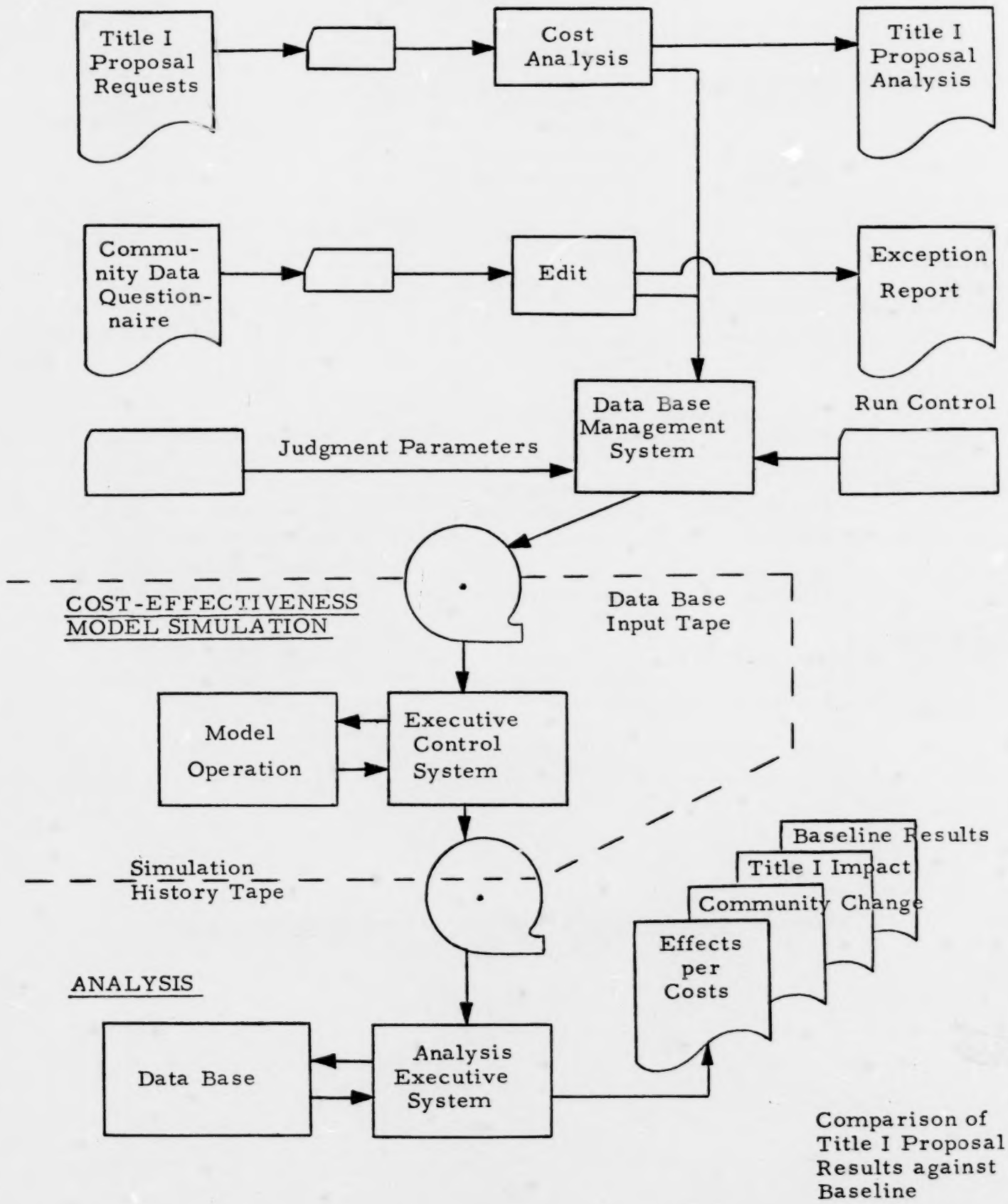


Figure 19 Education Cost-Effectiveness Computer Simulation

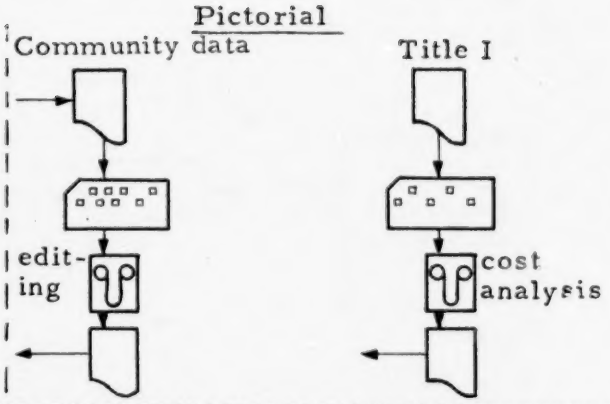
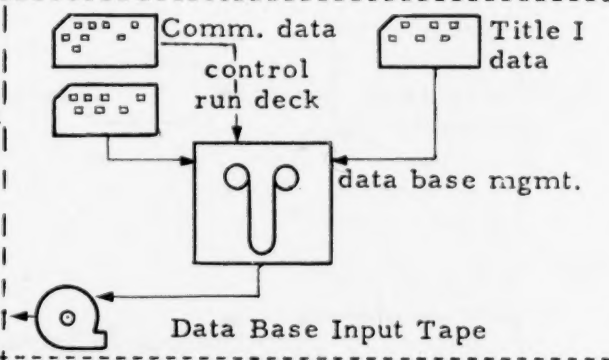
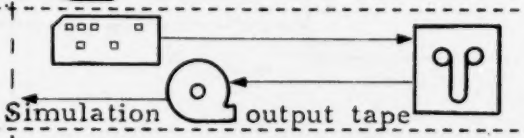
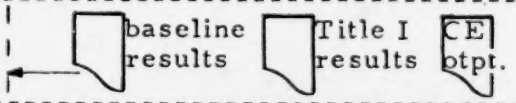
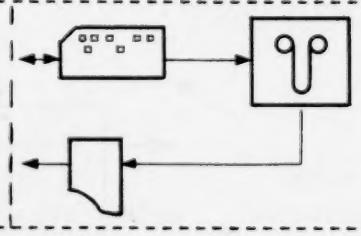
	Source	Operation	Pictorial
DATA COLLECTION	Field	Filled-out questionnaire and Title I proposal	
	Data processing facility	Convert data to punched cards	
	Machine processing	Run editing and cost analysis programs	
	User error analysis	Determine corrections needed	
DATA BASE PREPARATION	User error correction	Prepare data decks	
	User run control preparation	Prepare run deck	
	Machine processing	Run data base management system	
	Data processing facility	Save data base tape	
OPERATION	Machine processing	Run simulation Save output tape	
ANALYSIS	User data analysis	Data Analysis -	
	User request for additional information	Run analysis system with control card	
	User analysis	Further detailed data analysis	

Figure 20 User Interactions with Education Cost-Effectiveness Computer Simulation

necessary to convert effects into common units, so that alternative programs with different effects and resources can be compared along some common dimension.

The unit for the comparison of effects is value. The value for a given degree of change in each of the various effects is a judgment input, obtained from the user. Given changes in effects weighted by their associated values, and the resource changes described in terms of dollars, the value per dollar of a given Title I program can be estimated.

In the case where only one scarce resource (e.g., textbooks, teachers, schoolrooms, etc.) is being introduced by a Title I program, the amount of a value resulting from an increased amount of that resource may also be useful output.

Figure 19 shows the simulation and its operation.

A problem which may be of more interest to the user is : how does the simulation look to me ? Figure 20 describes the interaction of the user and the computer from the data-gathering stage until the final output is received from the simulation.

RESUME

SCHEMA D'UN MODELE COUT-EFFICACITE APPLICABLE
A L'ENSEIGNEMENT

Cette étude traite d'un schéma de modèle coût-efficacité au niveau de l'enseignement primaire et secondaire, visant avant tout à une évaluation des programmes prévus aux Etats-Unis par le Titre I de la Loi de 1965 sur l'enseignement primaire et secondaire en faveur des milieux défavorisés. En substance, le schéma tente d'exploiter les données disponibles sur les résultats de divers systèmes d'enseignement, ainsi que ce que l'on sait des processus d'acquisition et d'influence. Du point de vue méthodologique, le schéma tente une description quantifiée de divers systèmes d'enseignement qui peuvent être programmés pour simulation par ordinateur; la simulation quantifiera les impacts relatifs de diverses variantes de projets exécutés dans le cadre du Titre I, sur une école, une population scolaire et une collectivité donnée.

I. Le modèle global et les sous-modèles

L'objectif du modèle global coût-efficacité pour l'enseignement est d'évaluer, du point de vue de l'école, de la population scolaire et de la collectivité, les résultats et les coûts relatifs de diverses variantes des programmes prévus par le Titre I de la loi de 1965.

Etant donné que ces programmes sont destinés à élever le niveau des connaissances, le modèle est axé sur les modifications des résultats scolaires, les attitudes et les facteurs du milieu environnant qui ont une influence sur ces résultats, ainsi que sur les comportements sociaux et l'impact d'un niveau d'instruction plus élevé sur la collectivité qui bénéficie du programme.

En fait, ce modèle est en quelque sorte un micro-modèle, car il simule en détail quelques éléments du processus d'enseignement, mais il ne prétend pas être une micro-analyse des processus d'acquisition et d'influence, bien que ces processus soient représentés par tous les éléments objectifs de corrélation qui sont disponibles sous forme d'indices numériques qualitatifs. Le modèle est en voie de perfectionnement. La description qui en est donnée se réfère au modèle tel qu'il était en décembre 1966.

Le modèle ne prétend pas non plus être une description exhaustive des facteurs qui entraînent des modifications des résultats scolaires, du niveau d'instruction de la population scolaire, des attitudes, des gains potentiels des individus et de l'égalité des chances devant l'enseignement. On s'est efforcé de mettre en relief les aspects du processus d'enseignement qui semblent contribuer le plus à améliorer les résultats des élèves soumis aux programmes du Titre I, dans la mesure où des données numériques sont largement disponibles.

Quelques variables concernant les attitudes qui jouent vraisemblablement un rôle décisif dans le processus d'acquisition, ne sont pas encore cernées quantitativement et les données disponsibles sur ces variables ne sont que d'ordre qualitatif et très subjectif. Plutôt que de passer simplement sous silence ces variables - embarrassantes mais importantes - et donc de laisser croire qu'elles sont sans intérêt parce qu'on les a omises, on leur attribue, dans quelques cas, des indices numériques correspondant, en gros, à des distinctions qualitatives qui résultent de données empiriques mais subjectives. Dans d'autres cas, les variables qualitatives sont construites numériquement à partir d'éléments pour lesquels on dispose de meilleures don ées, ou bien on leur attribue des indices de valeur sur la base du jugement de l'utilisateur. Dans tous les cas, on s'est efforcé d'atteindre un équilibre entre la nécessité d'un input constitué par des données globales, les limites à la complexité du modèle et la validité de l'output.

Le modèle est centré sur la "production" quantitative et qualitative du système d'enseignement, plutôt que sur les moyens permettant d'atteindre cette "production". Toutefois, il était essentiel de rassembler des détails sur ces moyens pour simuler, aux fins de prévisions, ce que le système produira à l'avenir.

La prévision n'est pas l'objectif premier du modèle, qui doit seulement servir à indiquer le coût-efficacité de chacune des variantes des programmes du Titre I. La prévision exige la régularité du processus; or il n'y a pas deux écoles, deux populations scolaires ni deux collectivités qui soient semblables. Même la comparaison des données antérieures et postérieures à des programmes du Titre I déjà réalisés, ne fera qu'améliorer les indications sur le rendement probable relatif des programmes, en raison du caractère spécifique de chaque cas. Ce n'est que dans la mesure où des situations de type Titre I sont similaires, mesurées avec précision et introduites dans le modèle, que leur impact peut être prévu. Toutefois, un modèle coût-efficacité de prévision et d'évaluation comme celui qui est présenté ici, constitue, tout limité qu'il soit, une aide importante pour la planification de l'enseignement et la formulation de politiques en ce domaine.

Le modèle global comprend cinq sous-modèles : (voir la figure 1 et le tableau récapitulatif).

- Ecole
- Processus d'enseignement
- Interaction des collectivités
- Coûts
- Coût-efficacité

II. Le sous-modèle "école"

(Fig. 2 à 7)

Ce sous-modèle simule un processus de production dans lequel les inputs constitués par quatre catégories d'élèves en cours d'études (Blancs ou de couleur, dont la famille a un revenu inférieur ou supérieur à 2.000 dollars) et par les ressources disponibles pour l'enseignement (professeurs, équipement, locaux et installations, environnement) sont transformés en individus possédant un niveau d'instruction plus élevé, en diplômés ou se traduisent par des abandons. Les inputs comprennent les programmes du Titre I, les données sur les résultats scolaires antérieurs, les données sociologiques des élèves et l'amélioration spécifique des résultats de la population scolaire visée. Les outputs sont les

variations du nombre des diplômés et des abandons, les niveaux de connaissances par âge ou par classe, et les zones où le niveau de réussite n'est pas satisfaisant.

III. Le sous-modèle "Processus d'enseignement"

(Fig. 8)

Ce sous-modèle représente les améliorations enregistrées dans les résultats scolaires et l'attitude des élèves à la suite d'un programme du Titre I. Il tente de reproduire les effets du processus d'influence, par lequel comportement et attitude sont modifiés par des contacts de durée et d'intensité diverses avec les professeurs, les parents et les autres élèves. Les inputs sont constitués par le programme du Titre I, les modifications antérieures et actuelles des résultats scolaires et des comportements, et les données sociologiques. Les outputs sont les variations des résultats scolaires et de l'attitude ("Indice de la difficulté d'acquisition des connaissances") par catégorie d'élèves dans la population visée par le Titre I.

IV. Le sous-modèle "Interaction des collectivités"

(Fig. 9 - 12)

Ce sous-modèle évalue l'impact qu'ont les modifications de l'output du système d'enseignement, consécutives aux programmes du Titre I, sur deux variables de la collectivité. Les inputs sont : 1) les outputs du sous-modèle "école", c'est-à-dire les variations du nombre des diplômés, des abandons et celles des résultats; 2) les outputs du sous-modèle "processus d'enseignement", c'est-à-dire les modifications des résultats scolaires et du comportement des élèves; et 3) les caractéristiques de la collectivité qui figurent dans la base-données. Les outputs sont les modifications enregistrées dans la collectivité quant aux gains potentiels des individus pendant leur vie professionnelle, et l'égalité des chances devant l'enseignement pour la population visée par le Titre I.

V. Le sous-modèle "Coût"

Ce sous-modèle rend compte des coûts directs et indirects qu'entraîne la mise en oeuvre des programmes du Titre I. Il permet à l'utilisateur d'associer des coûts spécifiques à des éléments spécifiques du programme et à leurs répercussions. Les inputs sont constitués par la description et les coûts du programme du Titre I, et les coûts réels moyens nationaux des facteurs types du Titre I. Le sous-modèle établit une comparaison entre les dépenses-types et les propositions de dépenses. Les outputs sont : le coût total du programme, les ressources additionnelles qui ont été achetées et les coûts totaux du programme ventilés par chapitre.

Le sous-modèle "coût" a été mis au point pour donner un poids significatif aux rapports "coût-efficacité" d'un programme envisagé dans le cadre du Titre I. Le modèle a pour but de calculer le coût total d'un programme du Titre I, tenant compte à la fois des dépenses directes et indirectes requises pour le programme. Les coûts réels moyens des besoins directs les plus importants, tels que les machines pour lire, les émoluments des professeurs et du personnel de santé, l'équipement audio-visuel, etc... seront incorporés dans la base-données du modèle pour chaque programme du Titre I que le modèle sera capable de traiter.

En outre, les coûts des besoins auxiliaires tels qu'une salle de classe vide, le personnel administratif supplémentaire (qui est souvent disponible à l'intérieur du système scolaire lui-même) seront intégrés dans chaque programmation, bien que ces facteurs ne soient pas nécessairement pris en compte par l'utilisateur. C'est ainsi que lorsqu'un programme du Titre I est introduit dans le modèle "coût", non seulement ses besoins directs, mais également ses besoins auxiliaires seront étudiés. On verra à la figure 13 que le modèle compare les ressources courantes dont on dispose dans l'école à leur taux d'utilisation; ceci permettra d'évaluer les ressources qui sont disponibles pour répondre aux besoins auxiliaires du programme du Titre I. C'est dire que lorsque le calcul des coûts est achevé, le coût total du projet est mis en évidence, et non le seul coût apparent de la plus grande partie du programme en cause.

La méthodologie utilisée par le sous-modèle "coût" pour évaluer le coût total est schématisée dans la figure 14. Les achats directs et indirects nécessaires à la programmation sont énumérés : ils comprennent aussi bien les dépenses initiales requises pendant la première année de fonctionnement que - là où c'est applicable - la valeur actualisée des coûts à prévoir. Ces coûts sont imprimés pour le bénéfice de l'utilisateur suivant le schéma indiqué à la figure 15. Le coût total de la programmation est également intégré au sous-modèle "coût-efficacité" en tant qu'input que l'on utilisera pour calculer les valeurs relatives coût-efficacité.

Le coût total du programme, une fois évalué, sera comparé à l'estimation faite par l'utilisateur, car il arrive qu'il ait déjà procédé lui-même à une évaluation du coût du projet. Le bilan des différences entre les deux évaluations sera établi pour l'utilisateur. En outre, le coût total du programme sera comparé à l'ensemble des fonds disponibles pour le projet; si l'évaluation du coût dépasse le plafond des dépenses, l'ordinateur s'arrêtera et fera part de cet élément d'analyse à l'utilisateur (voir figure 16). Grâce à ces deux méthodes de diagnostic, l'utilisateur pourra déterminer si le coût du programme dépasse de beaucoup les fonds qu'il avait initialement l'intention d'engager.

Le sous-modèle "coût" est intégré à la fois aux deux sous-modèles "processus d'enseignement" et "école". Le programme, une fois évalué, est intégré dans le sous-modèle "processus d'enseignement" après que ses paramètres ont été traduits dans une série de codes qui pourront être traités par le modèle "processus d'enseignement". Le sous-modèle "école" reçoit les nouvelles ressources que le modèle "coût" juge nécessaires pour l'exécution du programme du Titre I envisagé, et il met à jour la base-donnée en fonction de ces résultats. Le modèle "école" fournit également au sous-modèle "coût" l'effectif des élèves du groupe particulier choisi par l'utilisateur pour bénéficier du programme du Titre I. Ceci permet au sous-modèle "coût" de déterminer quantitativement les ressources nécessaires, et par là même les coûts, à envisager pour l'exécution de tout programme du Titre I.

VI. Le sous-modèle "coût-efficacité"

Ce sous-modèle analyse et prend en compte l'output constitué par les résultats des autres sous-modèles. Ses inputs sont : 1) l'ensemble des variables qui se trouvent à quelque moment que ce soit dans la base-données, 2) les outputs de tous les sous-modèles ci-dessus (c'est-à-dire les répercussions sur les élèves, l'école et la collectivité), et 3) les coûts qui leur sont associés. Les outputs sont : les données concernant l'efficacité, les mesures du rendement de l'enseignement et les données descriptives concernant l'école, les élèves et la collectivité. Les mesures spécifiques de l'efficacité sont les résultats enregistrés par rapport aux coûts, d'une part, et par rapport aux ressources engagées, d'autre part.

Le modèle global simulera des districts scolaires particuliers et leur output exprimé en changements affectant les élèves et impacts sur la collectivité. Cette simulation est accomplie en particulier par les sous-modèles "école", "processus d'enseignement" et "collectivité". Le sous-modèle "coûts" détermine les coûts des divers inputs du Titre I et les dépenses scolaires courantes. Le sous-modèle "coût-efficacité" reçoit les outputs de ces quatre sous-modèles et la base-données révisée; il fournit à l'utilisateur un output qui indique les coûts et efficacités relatifs de l'enseignement, ou son rendement.

La figure 17 présente deux catégories d'outputs issus de la simulation. Si nous utilisons le modèle sans aucun programme du Titre I (passage de base), l'output sera exprimé sur la base des niveaux des résultats scolaires et des impacts sur la collectivité antérieurs au Titre I. Ces niveaux antérieurs au Titre I sont importants pour vérifier le modèle et mettre au point les paramètres de jugement qu'il contient.

Après avoir exécuté le passage de base, la simulation est entreprise avec un programme prévu par le Titre I. L'output de ce passage représentera une autre série de degrés de changements affectant la population scolaire et d'impacts sur la collectivité; cependant ces nouveaux niveaux ne sont pas extrêmement utiles en eux-mêmes. Le seul moyen de déterminer l'impact d'un programme du Titre I est de comparer le passage de base avec le passage du Titre I. Et ainsi, le deuxième type d'outputs engendré par la simulation est une série de modifications (ou "deltas" pour chacune des variables étudiées.

La figure 18 présente les changements (Δ) qui résultent des programmes du Titre I, dérivés de la simulation, ainsi que les outputs qui sont extraits des programmes. Ce qui nous intéresse, ce sont les résultats de l'introduction de l'input du Titre I et de leur coût. Cependant, il se peut que ce type d'outputs ne soit pas très utile pour comparer des variantes de programmes du Titre I, puisqu'on emploiera vraisemblablement d'autres ressources pour des programmes différents. Il est donc nécessaire de convertir les ressources en une unité de mesure commune, la plus évidente étant le dollar. On peut alors calculer les résultats en termes de changement par dollar dépensé. Pour la même raison, il est nécessaire de convertir les résultats en unités communes, afin que diverses variantes de programmes ayant des résultats et des ressources différentes puissent être comparées sur la base d'un étalon.

L'unité de comparaison des résultats est la valeur. La valeur correspondant à un certain degré de changement affectant chacune des répercussions du programme est un input de jugement que l'on obtiendra de l'utilisateur. Les changements mesurés d'après les valeurs qui leur sont associées étant connus, ainsi que les modifications intervenues dans les ressources exprimées en dollars, la valeur par dollar engagé d'un certain programme du Titre I peut être estimée.

S'il arrive qu'une seule ressource rare (par exemple, livres de classe, professeurs, salles de classe, etc...) est introduite par un programme du Titre I, la valeur additionnelle qui résulte d'un accroissement de cette ressource peut également devenir un output utile.

La figure 19 schématise la simulation et son fonctionnement.

STATE-SPACE MODELS OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS

by M.G. Keeney, H.E. Koenig, R. Zemach

I. Introduction

At least three major objectives motivate the construction of a dynamic mathematical model of the university. First, by analysis of the existing structure and procedures, the relationships of the various components of the institution are clarified, and the patterns by which university administrators currently allocate scarce resources to meet constantly changing demands are described quantitatively. The model reveals trends or changes in demand, output, and policy-making which have been and are occurring. It identifies those variables which might be termed the control variables of the system, i.e., those factors which may be manipulated by policy makers either within or outside the university, and to which the university system responds with a corresponding change in its input-output characteristics.

Secondly, the mathematical model serves as a guide in policy-making for the future, and provides a tool for experimenting with alternatives in allocation of resources as demands and needs change. Such experiments are referred to as simulations, and are usually carried out in a computing machine.

Finally, a well-constructed and properly designed model can also serve as a building block for simulating the interaction between institutions of higher education and the national economy. In this role it serves as a tool for investigating the demands placed on education by economic and social development, and for experimenting with alternate national policies relating to the development of higher education in response to economic and social changes.

Administrators responsible for planning in the universities of the United States must consider both the needs dictated by economic, cultural and social developments, and the demands of the growing student population. On one hand, any university that has a relatively open-door policy has little or no control over either the magnitude or the distribution of the demands that the student body places upon its resources. On the other hand, policy-making must respond to the manpower requirements in a changing economy and to the needs in important areas of study as indicated by social and scientific urgencies. In the latter context, three different levels of demand may be distinguished : traditional local or regional demands, national needs, and educational obligations to other nations.

Planning in response to student demands is largely reactive. In contrast, planning in response to economic and social needs requires that goals be defined so that university resources may be allocated to meet them. It must be emphasized at this point that in the development of the model of the university, explicit definition of "the goals of higher education" has been deliberately avoided. These goals will vary in different societies, in different areas, and in different philosophical settings. They are not of immediate concern in the development of a mathematical model. Only the general assumption that economic and social considerations will be among the determining factors is made here. It is through the policy parameters and control variables, defined by a model, that the response of the system to meet its goals is governed. It should be noted however, that in a dynamic society the goals themselves vary with time, so that one must conceive of a system "moving in the right direction" but never really reaching the "ideal" state.

In the allocation of resources, administrators may be reacting to any number of variables, such as the number of students, the quality of their preparation, prestige factors, quality of faculty, job opportunities for graduates, and social or scientific urgencies. Whatever the situation may be, one is ultimately forced, in a modeling effort, to use only those variables which are measurable - variables such as hours of lecture and research, student population levels, square feet of building space, faculty man hours and unit costs of resources. Hopefully, some of the less tangible aspects of the system considered in the allocation process can eventually be expressed in terms of data related to these or other measurable variables. But it is difficult to conceive that all aspects of an educational system can be quantified and included in a mathematical model. Consequently, it must be recognised at the outset that any model has limitations and that as a decision tool, the results of any experiment with the model must be weighed or tempered by these less tangible considerations.

The model presented in this report considers only those features of the educational process that can be characterized in terms of flow rates of numbers of people, goods, and services, and their associated unit values as measured in dollars. The problem of quantifying the "quality" and "effectiveness" of the educational program as they relate to administrative and academic policy has received preliminary study, but these variables have not been incorporated into the model. Neither have any behavioral studies been made with respect to student demands.

Even within the framework of quantifiable variables, the model must be regarded as stochastic rather than deterministic, i.e. the parameters and variables are described in terms of average or expected values. Allocations are based on probable needs and are invariably quantized with temporary shortages or over-supplies of classroom space, teachers etc. Environmental requirements are considered in the model in terms of both expected or average need, and variability.

The accuracy of any model, of course, rests critically on an accurate and adequate data base from which the parameters in the model can be evaluated. While the mathematical model defines and delineates the data base needed to describe the system parameters and allocation policies, these data are seldom available a priorily even for relatively unsophisticated models. Thus, a serious modeling effort also implies a parallel development of data acquisition and processing systems. Further, the extent of the required data base is such that the modeling effort is usually practical only if the data base is available in a form that is addressable by a computing machine. If the model is to serve as an effective decision tool, the data acquisition system must also include provision for periodic updating.

Some aspects of the dynamic model of higher education described in this paper have been considered by other investigators, particularly the use of a Markov matrix to characterize the dynamic changes in the student population distribution within the university (1). Some of these works are primarily of a theoretical nature; others have attempted to actually evaluate and study the stability of the transition matrices. The model presented here extends beyond these reported works in several respects: 1) the population dynamics is used as a basis for establishing the academic demands placed on the production facilities of the university by field and level, 2)it delineates the allocation policies that are being used by the administration to meet these demands with explicit capability to experiment with alternate allocation policies, 3) it is based on the complementary variables of "real flows" and unit costs rather than dollar flows, thereby providing the mechanism for investigating, explicitly, the effects of inflationary trends at either the level of the institution or at the level of the national economy, 4) it identifies a complete

(1) See at the end of this text, bibliography 1-5.

computer-oriented data acquisition and processing system necessary to periodically update the model, evaluate it and make it a realistic tool in decision making.

The model as presented is sufficiently general in form to be associated with any particular university, or with a set of institutions operating in parallel. By generalizing the model even further - for example, by interpreting the "categories" to include all levels of the educational process - the same type of mathematical formulation may be associated with the entire educational system of a nation.

II. The Structure of the Model

II-1. Basic Systems Concepts

Quantitative methods for the analysis of any process, including the socio-economic processes under consideration here, are based on sets of equations which show the interdependence of sets of complementary variables that characterize the process or processes under consideration. If the equations are all algebraic in form (linear or nonlinear) the model is characterized as a static model in contrast to a dynamic model which contains at least one differential (difference) equation of any order. If all differential (difference) equations in the model are presented in first-order form, the model is referred to as a state-space model. Dynamic models of this latter form are the most tractable mathematically and computationally. For this reason, they have evolved as the basis for all analysis, simulation, control, and optimization concepts and procedures in modern System theory. The extensive literature on simulation, control, and optimization developed by mathematicians and engineers in electronics and aerospace research applies directly to educational systems when they are modeled in this form.

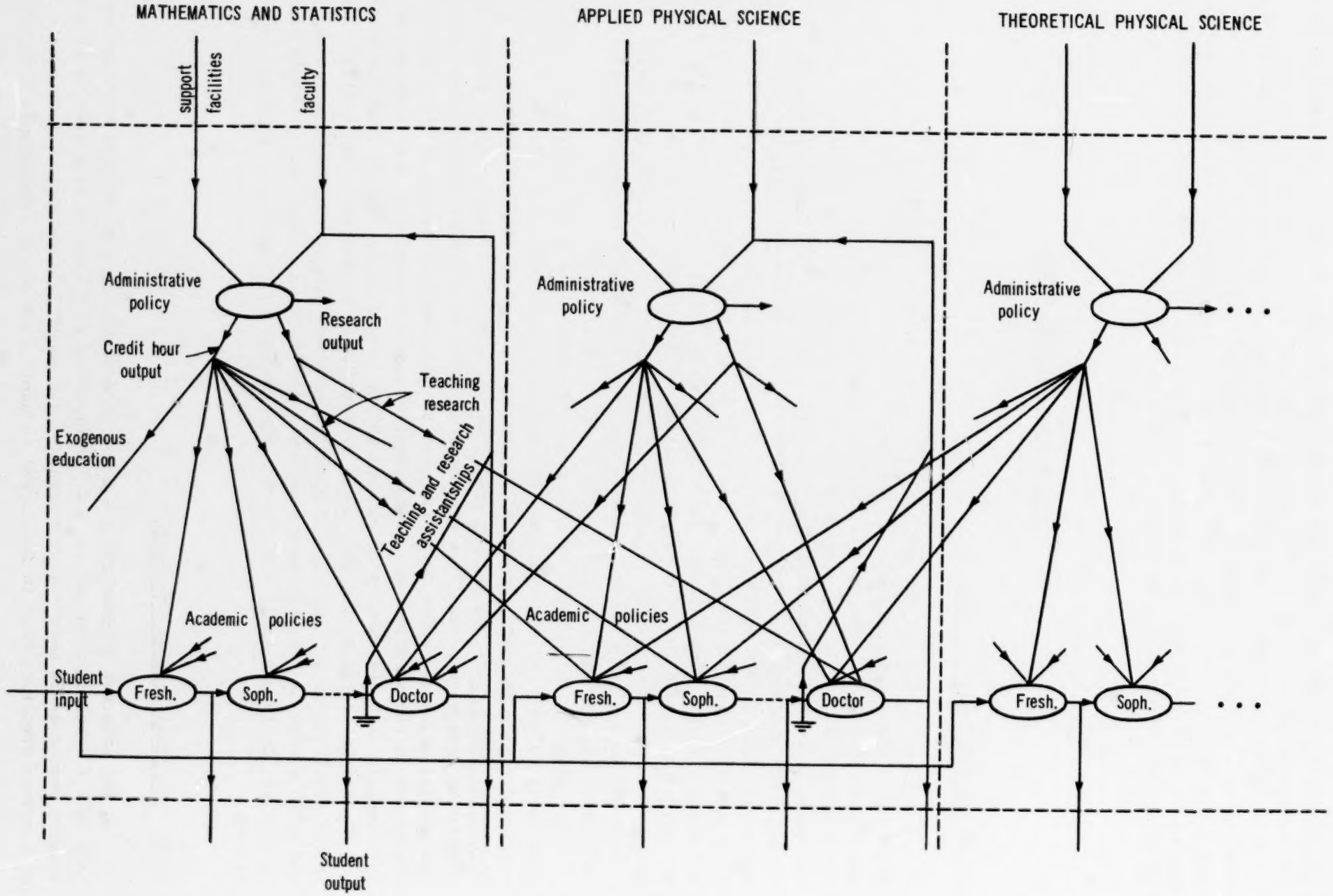
A system, in the context of this paper, is defined as a collection of interacting components no more or less real than the system of interconnected springs, levers and rigid parts in a machine. A model of any such system is developed systematically from the structural features of the system, presented in terms of 1) mathematical models of the components themselves, and 2) a mathematical model of their interconnection pattern. The fundamental axiom of system theory is that the mathematical models of the components identified in the structure are independent of how the components are inter connected. This implies that the various components can be conceptually removed from the system and studied in isolation and that their corresponding models serve as "building blocks" in the construction of a model of any system of these components. The analyst can go as far as he wishes in breaking down a system into "building blocks" sufficiently simple to be modeled. It is precisely this feature that makes system theory a universal tool of science.

II-2. Conceptual Form of the Model

In the interest of developing a model of educational institutions that serves as a tool both for policy formulation, and for experimenting with alternatives in allocating limited resources to meet changing demands, the model is developed as an explicit function of a system structure that is meaningful to administrators of educational institutions.

Figure 1

BASIC STRUCTURE OF AN EDUCATIONAL INSTITUTION



This structure is indicated schematically in Figure 1 and consists of a demand sector and various production sectors.

The demand sector describes the demands placed upon the system by the students in various academic programs. If the academic programs in the university were so restrictive as to require that each student in any given field of study take a specific curriculum, then the problem of predicting the academic demands these population groups place on the production sectors would essentially end with the ability to predict the number of students in each group. In the absence of such strict requirements, one depends upon patterns of behavior of relatively large subgroups of students in selecting electives in their programs of study. In a similar manner it is conjectured that graduate programs in each field of study place demands on the university for thesis-related research which are characteristics of the field and level. These research demands are sometimes referred to as "research teaching" and are considered explicitly in the model as a component of the demand.

The production sectors of the model describe the allocation of resources in terms of both man-hours of faculty and staff, and support facilities which may be described as "environment". The latter includes cultural and other non-academic programs, as well as classrooms and laboratories.

These basic sectors of the university system are modeled as unconstrained components, i.e., the model of the demand sector is developed as though there were no constraints imposed on the demands by the production sector, and vice-versa. When the two sectors operate as an integrated unit, constraints are in fact imposed on the flow rates and unit values, which, when expressed mathematically, couple the two component models together to form a state-space model of the complete system. This model establishes an interrelationship between a set of inputs, outputs and internal states as a function of a set of control variables as shown schematically in Figure 2.

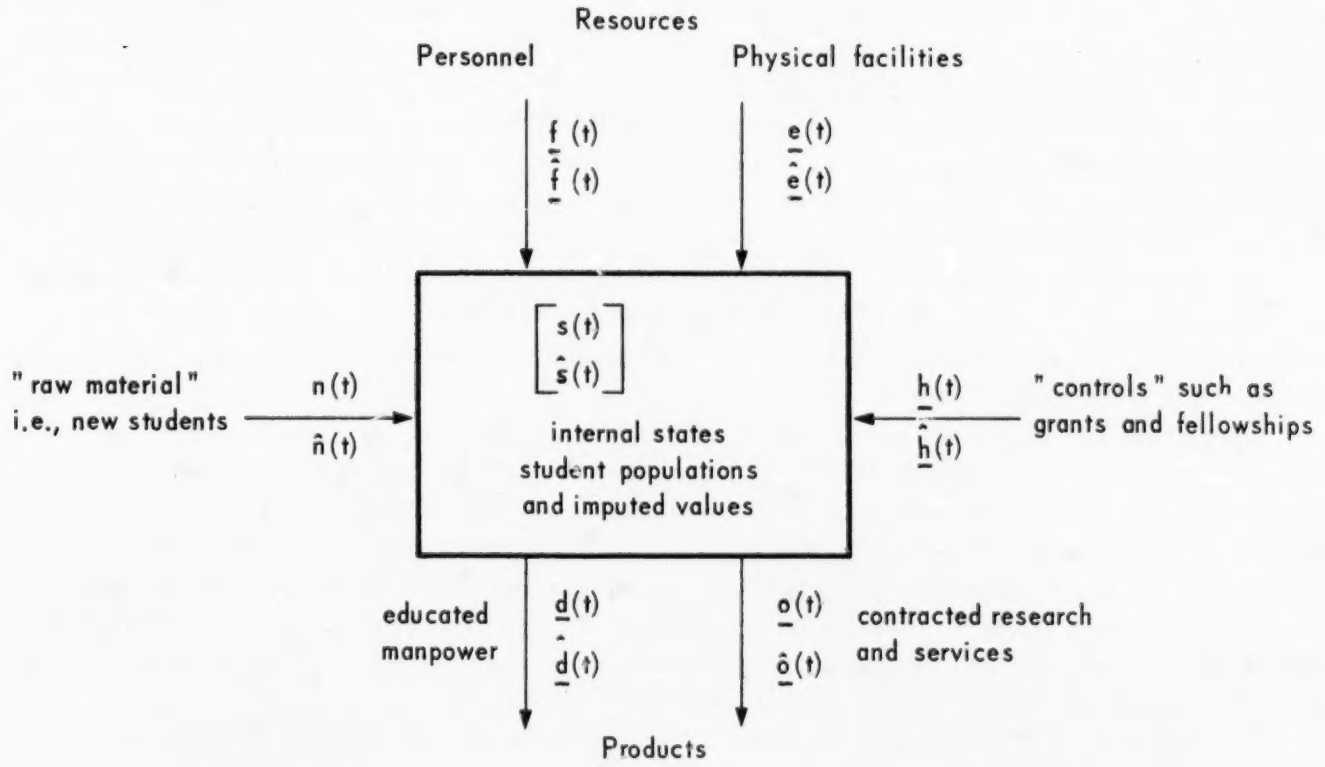
The state of the university system is represented by the direct sum of a vector $\underline{s}(t)$ whose coordinates describe student distribution among the various areas of study at various levels during the t^{th} time interval, and a vector $\underline{\hat{s}}(t)$ whose coordinates represent the imputed value of each student in the various areas and levels of study. In view of the many different purposes of the mathematical model, flexibility is maintained in the degree of refinement with which its state is described. "Areas of study" for example, might be individual departments for the purpose of analysing term-by-term classroom allotment, but the departments might be aggregated into broad classifications for analysis of long-range trends. It may also be desirable to examine the relation of one unit, such as a particular department or college, to other broadly defined areas of study. The state vector is therefore referred to simply as identifying N categories of student distribution, and imputed values, with the understanding that a category has bivariate classification - area of study, and level.

Similarly, the "t^{th} time interval" may refer to a term, semester, school year, etc.

The changes in state of the system with time are given as a function of the inputs and controls by a set of first-order difference equations. The outputs are given as a function of the internal states, the inputs and controls by a set of algebraic equations. The equations in the model presented here are predominantly linear in form, as a first approximation, though higher-order effects can readily be included as the model is refined.

Figure 2

TERMINAL FLOWS AND INTERNAL STATES IDENTIFIED IN THE MODEL OF AN EDUCATIONAL INSTITUTION AS A "BLACK BOX"



INPUT VARIABLES

n(t) - *gross number of students entering all fields and levels, and re-admissions*

f(t) - *faculty and staff members*

e(t) - *flow of environmental facilities*

h(t) - *fellowships, grants, etc.*

OUTPUT VARIABLES

d(t) - *flow of manpower*

o(t) - *flow of outside contracted research and services*

II-3. Mathematical Form of the Model (1)

(a) The Demand Sector :

In the state-space model to be presented here, all vectors are considered as column vectors.

Let

$$\underline{s}(t) = [s_1(t),\ s_2(t),\ \ldots,\ s_N(t)]^T$$

be a subvector of the state vector, where $s_i(t)$ represents the number of students in category i during the t^{th} time interval, and superscript T indicates transpose.

If $P_{ij}(t)$ represents the proportion of those students in the j^{th} category during time t who are in category i during the time $t + 1$, the NxN matrix

$$P(t) = \left[p_{ij}(t)\right], \qquad i = 1,\ \ldots,\ N;\ j = 1,\ \ldots,\ N$$

describes the transitions between categories for those students who are in the university during time periods t and $t + 1$.

Let $n(t)$ represent the number of new students arriving at the university during the time t (2) and let

$$\underline{a}(t) = \left[a_1(t),\ \ldots,\ a_N(t)\right]^T$$

be the distribution vector for the arrivers, where $a_i(t)$ represents the proportion of the new students who will enter category i. The product

$$\underline{a}(t)\ n(t)$$

is an N-vector whose components represent the number of new arrivers entering the respective categories.

A difference equation representing the transition in student population distribution from time period t to time period $t + 1$ may then be written

$$\underline{s}(t + 1) = P(t)\ \underline{s}(t) + \underline{a}(t)\ n(t) \qquad (1)$$

where the N-vector $\underline{s}(t + 1)$ gives the student distribution in the N categories during the period $(t + 1)$.

The basic equation is easily extended to higher order to allow for predictions of student distribution in future time periods.

We may write

$$\underline{s}(t + m) = \prod_{k=0}^{m-1} P(t+k)\ \underline{s}(t) + \prod_{k=1}^{m-1} P(t+k)\ \underline{a}(t)\ n(t)$$

$$+ \prod_{k=2}^{m-1} P(t+k)\ \underline{a}(t+1)\ n(t+1) + \ldots + \underline{a}(t+m-1)\ n(t+m-1). \qquad (2)$$

---

(1) The reader not interested in the mathematical aspects of the problem can omit this and other sections so identified without loss of continuity.

(2) Students are assumed to be "arriving" during the time interval immediately prior to their first term as enrolled students.

We turn now to the determination of the number of students of all categories departing from the institution during or at the end of the t^{th} period. The sum

$$\sum_{i=1}^{N} P_{ij}\ (t)$$

represents the total proportion of the students in category j during time t who transfer to other categories within the university. The difference

$$\$_j(t) = 1 - \sum_{i=1}^{N} P_{ij}(t)$$

represents the proportion of students of category j who depart from the university by the end of period t. Letting D(t) be the NxN diagonal matrix whose j^{th} diagonal element is $\$_j(t)$, we may represent the vector $\underline{d}(t)$ of manpower departing from the institution, by field and level, as a linear function of the population state vector.

$$\underline{d}(t) = D(t)\ \underline{s}(t),$$

$$\underline{d}(t) = \left[d_1(t),\ \ldots,\ d_N(t)\right]^T$$

The model so far has made no provisions for isolating those factors which affect the proportion of students moving from one category to another, and those variables which might be considered controls. In particular, the transition from undergraduate to graduate level in all academic areas deserves detailed study. As an example of a first step towards identifying controls, it will be assumed that the number of fellowships and graduate assistantships available in any area of study will affect the number of students continuing with or arriving for graduate work. The availability of scholarships or tuition discounts in particular areas may affect the decisions of undergraduates as well.

Two vectors are therefore introduced into the model which will be called control variables;

$$\underline{g}(t) = \left[g_1(t),\ \ldots,\ g_N(t)\right]^T$$

$$\underline{h}(t) = \left[h_1(t),\ \ldots,\ h_N(t)\right]^T$$

where $\underline{g}(t)$ represents the number of graduate teaching assistantships offered in each category, and $\underline{h}(t)$ represents help or support offered in the form of fellowships, research assistantships, scholarships, or tuition discounts. The financial assistance is considered to be "offered" in the period immediately prior to its use by enrolled students. The vector $\underline{g}(t)$ will consist of zeros, except for those categories representing graduate levels. The state equation may now be modified by writing

$$\underline{s}(t+1) = P(t)\ \underline{s}(t) + \underline{a}(t)\ n(t) + K_1\ \underline{g}(t) + K_2\ \underline{h}(t) \qquad (7)$$

In this equation, K_1 and K_2 are NxN matrices which attribute part of the enrollment in each category to the amount of financial aid available. The transition matrix P(t) and new arrival distribution vector $\underline{a}(t)$ must be modified accordingly to represent transitions which are considered to be independent of any financial inducements. If it is correct to assume that $\underline{g}(t)$ and $\underline{h}(t)$ are control variables, then university administrators can influence the state of student distribution by increasing or decreasing the number of graduate assistantships, or other forms of financial help.

If the transition matrix P(t) is modified to remove the effect of financial inducement, then the matrix D(t), reflecting the proportion of students in each category who

depart from the university, is similarly modified. Since its diagonal elements $\delta_j(t)$ are equal to the difference

$$1 - \sum_{i=1}^{N} P_{ij}(t),$$

the product

$$D(t)\ \underline{s}(t)$$

now represents the number of students in each category who would leave the university in the absence of any financial aid. To correspond with the new state-vector equation, the output-vector equation must now be

$$\underline{d}(t) = D(t)\ \underline{s}(t) - H_1\ \underline{g}(t) - H_2\ \underline{h}(t) \qquad (4)$$

The coefficients in H_1 and H_2 reflect the proportion of assistantships and other aids awarded to students already within the university system, who would not otherwise continue.

Thus, administrators can determine the effect of changes in the number of graduate assistantships or fellowships on the manpower output of the university.

Each student imposes upon the university a demand for credit-hours of course work. In addition, if the student's academic program includes research efforts, the faculty will be called upon to provide "research-teaching" to direct these efforts. Let $\underline{c}(t)$ and $\underline{r}(t)$ be N-vectors representing course and research credit hours respectively. If it is assumed that the unconstrained demands imposed on the university are directly proportional to the components of the state vector $\underline{s}(t)$, then the number of hours of credit for each category may be written as a 2N-vector

$$\begin{bmatrix} \underline{c}(t) \\ \\ \underline{r}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \\ \\ R \end{bmatrix} \underline{s}(t) \qquad (5)$$

where C and R are NxN matrices.

Finally, as part of the demand sector, it is desirable to impute a value, or total accumulated investment, to each student in the institution. These values are expressed in terms of the cost, in dollars, of teaching hours and support facilities and upon the value assigned to a student on entering the institution.

Let the scalar $\hat{n}(t)$ represent the average value of the educational investment in a student who is beginning college. It is assumed that the imputed value of a student entering at an advanced level is the same as a corresponding student developed within the institution. Added to the student's initial value are the values of course and research-teaching credit hours which contribute to his education. The N-vectors $\hat{\underline{c}}(t)$ and $\hat{\underline{r}}(t)$ will denote the unit costs of course credit hours, $\underline{c}(t)$, and research-teaching credit hours, $\underline{r}(t)$, for the N categories of the university program. Similarly

$$\hat{\underline{s}}(t) = \left[\hat{s}_1(t),\ \ldots,\ \hat{s}_N(t)\right]^T$$

will be a subvector of the state vector whose coordinates denote the average unit value of a student in each of the N categories.

From the standpoint of both system theory and sound accounting practice, the components of $\hat{\underline{s}}(t)$ will be negative numbers, representing unit costs of <u>output</u> of the demand sector, whereas the values of teaching, research, and new students will be positive, representing <u>input</u> to the demand sector.

Consider the value imputed to a student in category i during the $(t+1)^{th}$ time interval. This value will be expressed in terms of a weighted average of the values attributed to students who entered category i from all other categories, using the values attributed during the t^{th} time interval, and adding the value accumulating during the $(t+1)^{th}$ time interval. The coefficients in the weighted average are taken as the proportions of students entering category i from the other categories.

Letting

$$q_{ij}(t+1) = \frac{P_{ij}(t)\, s_j(t)}{s_i(t+1)}$$

and letting v_i represent the value added during time period t+1, the unit value for category i is

$$\hat{s}_i(t+1) = \sum_{j=1}^{N} q_{ij}(t+1)\, \hat{s}_j(t) + \frac{a_i(t)\, n(t)}{s_i(t+1)}\, \hat{s}_i(t) - v_i(t+1) \qquad (6)$$

The average imputed value for all categories may be written in vector form.

$$\underline{\hat{s}}(t+1) = Q(t+1)\, \underline{\hat{s}}(t) + \underline{\hat{g}}(t+1) - C^T\, \underline{\hat{e}}(t+1) - R^T\, \hat{r}(t+1) \qquad (7)$$

where

$$Q(t+1) = \left[q_{ij}(t+1)\right]$$

and

$\underline{\hat{g}}(t+1)$ is the vector whose components are

$$\frac{a_i(t)\, n(t)}{s_i(t+1)}\, \hat{s}_i(t), \quad i = 1, \ldots, N.$$

C^T and R^T are the transposes of the matrices C and R appearing in (5).

(b) The Production Sector

In concept, the demands of the student population are met by production units associated with the areas of study used in the model. These production units produce both credit-hours of education, and research, part of which is used in the educational process, and part of which is an exogenous output. The resources required to meet these output demands are classified into three types : faculty, graduate assistants, and support facilities (environment). Because of the use of graduate assistants, each field of education is assumed to have a "feedback loop" from the graduate student population through which part of the faculty requirements are supplied.

Assume M areas of study have been identified in the model. The vector

$$\underline{f}(i,t) = \left[f_1(i,t), \ldots, f_k(i,t)\right]^T$$

will represent the number of units of faculty manpower, at k faculty ranks, required in area i during the t^{th} time interval. The vector

$$\underline{g}'(i,t) = \left[g_\ell'(i,t), \ldots, g_\ell'(i,t)\right]^T$$

will represent the units of graduate-assistant manpower at ℓ graduate levels, and

$$\underline{e}(i,t) = \left[e_1(i,t), \ldots, e_m(i,t)\right]$$

will represent major components of support facilities, such as classroom and laboratory space, library, computer facilities, etc., used in the i^{th} study area, i = 1, 2, ..., M. The vector $\underline{o}(i, t)$ will represent numbers of units of outside-services, such as research under contracts or grants, or seminars for industrial groups, "purchased" from the university in area i.

In order to incorporate credit hours of demand for teaching and research-teaching into the production sector, the course credit hours associated with the i^{th} study area at all levels will be denoted by the vector $\underline{c}'(i,t)$. Similarly, $\underline{r}'(i,t)$ will be the vector of research-teaching hours whose coordinates refer to study area i, at all levels.

The input-output model of the production sector may now be written in the form of vector equations. The input-output flow of the i^{th} production unit is represented as :

$$\begin{bmatrix} \underline{f}(i,t) \\ \underline{g}'(i,t) \\ \underline{e}(i,t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1(i) & F_2(i) & F_3(i) \\ G_1(i) & G_2(i) & G_3(i) \\ E_1(i) & E_2(i) & E_3(i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{c}'(i,t) \\ \underline{r}'(i,t) \\ \underline{o}(i,t) \end{bmatrix} \qquad (8)$$

Here $F_k(i)$, $G_k(i)$ and $E_k(i)$, k = 1, 2, 3, are matrices whose entries are coefficients of proportionality defined by the context of the units used in measuring the flows.

The imputed values (cost of production) of units of output in the i^{th} area of study are

$$\begin{bmatrix} \underline{\hat{c}}'(i,t) \\ \underline{\hat{r}}'(i,t) \\ \underline{\hat{o}}(i,t) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} F_1(i) & F_2(i) & F_3(i) \\ G_1(i) & G_2(i) & G_3(i) \\ E_1(i) & E_2(i) & E_3(i) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \underline{\hat{f}}(i,t) \\ \underline{\hat{g}}'(i,t) \\ \hat{e}(i,t) \end{bmatrix} \qquad (9)$$

This set of equations represents the costs of course-credits, research-teaching, and outside services as linear combinations of the unit costs of faculty, graduate assistants, and environment. Since these are output costs of the production sector, the values are negative.

The coefficients in the preceding sets of matrices are of particular importance - they represent administrative policy parameters used in allocating resources to meet production demands. For purposes of illustration, assume for example that all levels of study have been aggregated, so that the N categories are simply N areas of study, the variables in the equations are scalars rather than vectors, and the coefficients $F_k(i)$, $G_k(i)$, $E_k(i)$, k = 1, 2, 3, are numbers rather than matrices. The ratios of faculty to graduate assistants in teaching, research-teaching and outside service programs in the i^{th} study area are, respectively $F_1(i)/C_1(i)$, $F_2(i)/G_2(i)$ and $F_3(i)/G_3(i)$. Technical innovations in education, such as the expanded use of teaching machines, are reflected in the model by changes in the ratios $F_1(i)/E_1(i)$; i.e., by a change in the ratio of faculty to support facilities. No one can predict how these ratios will change with time. They are actually "policy coefficients" that can be changed in the model during simulation experiments.

(c) The System Model

The models of the two sectors developed in the previous sections are unconstrained models. When the two sectors operate as an integrated unit, constraints are imposed on

the flows and unit values associated with the various inputs and outputs. The constraints in this sytem are unusually simple and have, in fact, been implicitly recognized by the use of the same notation for some of the variables of both the demand and production sectors.

The flow of course credit hours and research-teaching emanating from the production sector is the same as that utilized by the demand sector, all graduate assistants used in production come from the flow of assistantships in the demand sector. Thus the vectors $\underline{c}(t)$ and $\underline{r}(t)$ are the direct sum of the appropriate vectors of the production sector,

$$\underline{c}(t) = \begin{bmatrix} \underline{c}'(1,t) \\ \underline{c}'(2,t) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \underline{c}'(M,t) \end{bmatrix} = \underline{c}'(t); \quad \underline{r}(t) = \begin{bmatrix} \underline{r}'(1,t) \\ \underline{r}'(2,t) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \underline{r}'(M,t) \end{bmatrix} = \underline{r}'(t)$$

and $\underline{g}'(t) = \underline{g}(t)$, i.e., the number of assistantships available. On the other hand, the unit values of course credit hours and research-teaching hours in the demand sector are positive, since they represent input, whereas $\hat{\underline{c}}'(t)$ and $\hat{\underline{r}}'(t)$ are negative, representing output of the production sector.

Constraints on unit values are thus

$$\begin{aligned} \hat{\underline{c}}'(t) &= -\hat{\underline{c}}(t) \\ \hat{\underline{r}}'(t) &= -\hat{\underline{r}}(t) \end{aligned} \qquad (10)$$

A key relationship of the two sector models is a "feedback loop" denoting the fact that the graduate assistants used in the production sector are part of the student population of the demand sector. Hopefully, future refinements of the model will investigate the relationship between the unit value of the graduate student with respect to demand, and the unit value of his services in production. The discrepancy between these two values is an important variable associated with the feedback loop.

To establish the model of the institution, the direct sum of the units of the production sector will be represented as

$$\begin{bmatrix} \underline{f}(t) \\ \underline{g}(t) \\ \underline{e}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 & F_2 & F_3 \\ G_1 & G_2 & G_3 \\ E_1 & E_2 & E_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{c}'(t) \\ \underline{r}'(t) \\ \underline{o}(t) \end{bmatrix} \qquad (11)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{\underline{c}}'(t) \\ \hat{\underline{r}}'(t) \\ \hat{\underline{o}}(t) \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} F_1 & F_2 & F_3 \\ G_1 & G_2 & G_3 \\ E_1 & E_2 & E_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \hat{\underline{f}}(t) \\ \hat{\underline{g}}(t) \\ \hat{\underline{e}}(t) \end{bmatrix} \qquad (12)$$

The two equations forming the systems model of the institution are now obtained by applying the constraints to (3), (4), (5), (7), (11), and (12). The result is

Student Population :

$$\underline{s}(t+1) = \left[P + K_1G_1C + K_1G_2R\right]\underline{s}(t) + \underline{a}(t)\, n(t) + K_1G_3\underline{o}(t) + K_2\underline{h}(t) \qquad (13)$$

Imputed Values of Students :

$$\underline{s}(t+1) = Q(t+1)\underline{s}(t) + \underline{g}(t+1) - \begin{bmatrix} C^T & R^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1^T & G_1^T & E_1^T \\ F_2^T & G_2^T & E_2^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\underline{f}}(t) \\ \underline{g}(t) \\ \underline{e}(t) \end{bmatrix} \qquad (14)$$

Student Output and Resources :

$$\begin{bmatrix} \underline{d}(t) \\ \underline{f}(t) \\ \underline{e}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D(t) - H_1G_1C - H_2G_2R \\ F_1C + F_2R \\ E_1C + E_2R \end{bmatrix} \underline{s}(t) + \begin{bmatrix} -H_1G_3 & -H_2 \\ F_3 & 0 \\ E_3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{o}(t) \\ \underline{h}(t) \end{bmatrix} \qquad (15)$$

Cost of Outside Services :

$$\underline{\theta}(t) = -\left[F_3^T \hat{\underline{f}}(t) + G_3^T \underline{g}(t) + E_3^T \underline{e}(t) \right] \qquad (16)$$

The way in which unit cost of environment facilities varies with the number of students on campus depends in parts on the policies used in providing capital investment and in allocating capital costs. If $\underline{e}(t)$ is a function of the number of students enrolled, equations (14) and (16) may be appropriately modified.

III. Applications of the Model

III-1. Variables and Parameters

Classification of the terminal variables as the "input and output sets" for the model are somewhat arbitrary and it is equally appropriate to refer to these sets of variables as the dependent and independent variables, respectively, in the model. The model developed in this paper is given in terms of input and output variables indicated in the tabulation included with Figure 2. Note that each variable is a vector of arbritary order, depending upon the level of aggregation desired.

Likewise, the subset of terminal variables classified as control variables is somewhat arbitrary. If an independent variable is to be deliberately changed with time in an effort to achieve a particular output or response, then it is usually referred to as a control variable. In Figure 2, $\underline{h}(t)$ the number of fellowships, grants, etc., is regarded as a control variable, although one might just as logically regard contracts $\underline{o}(t)$ for outside grants as a control variable.

The coefficient matrices in the state model of the institution are given as an explicit function of basic behavioral, policy and production coefficient matrices associated with the demand and production sectors identified in the system structure. These coefficient matrices at any given point in time are established on a computing machine from machine addressable master data records of the university. Thus, the system model is said to be known as an explicit function of a manageable system structure, i.e., as an explicit function of behavioral, policy, and production coefficients over which there is some control and which the decision maker is free to vary in simulation experiments in an attempt to find the "best".

In each such experiment, the values of the input vectors must be specified as a boundary or terminal condition. Some of these terminal conditions, such as faculty, and environmental facilities costs and output contracts, can again be evaluated at any given point in time from master records. Other variables, such as the number of entering students and their imputed values must be specified as part of the simulation experiment. It should be recognized, however, that any or all of the input variables can be varied at will to evaluate the corresponding dynamic change in the output variables.

III-2. Simulations

The solution over time of the state model of the institution, for any admissible set of time variations in the behavioral and policy coefficients and the input and control variables, establishes the time variation in the system states and output variables. Such solutions are called simulations and are usually carried out on a computing machine. Clearly, the number of meaningful simulation studies that can be made is limited only by the number of meaningful combinations of policy coefficients, terminal conditions and control conditions the administrator can put together. Examples of specific simulations are given in section 5. Note that any such simulation establishes total cost figures for the institution. For example, the scalar product of the faculty flow vector $\underline{f}(t)$ and the faculty unit cost vector $\underline{\hat{f}}(t)$ determined from any given simulation establishes the total expenditure for faculty salary. Likewise, the scalar product of $\underline{e}(t)$ and $\underline{\hat{e}}(t)$ establishes the total expenditures for support facilities in any simulation. Further note that these expenditures depend upon the number of resource units required and their unit prices, both of which, in general, change with time as determined by the solution of the model.

III-3. Control

Control theory according to Richard Bellman, "can be defined to include any rational approach used by man to overcome the perversities of either their natural or their technological environment. The broad objective of control theory is to make a system - any kind of system - operate in a more desirable way : to make it more reliable, more convenient, or more economical".(1)

In terms of the sets of input, output, control and state variables represented schematically in Figure 2 for an institution of education, the control problem in its most general context is : for some well-defined goal, determine, within the set of all admissible policy parameters and controls, the time sequence of policy parameters and/or controls required to achieve this goal in an optimum manner. If the controls required are given as an explicit function of the state of the system, they are referred to as a control law or control strategy.

Note the significance of the fact that the policy parameters and controls are known as an explicit function of the state of the system. This implies that the optimal set of production policies and controls can be re-evaluated periodically by simply observing the current state of the system, i.e., the optimal control policy depends upon the present state of the system. It is a fixed proposition only when the system is not changing.

When particularized to the model of higher education, optimal control theory addresses itself to such questions as : 1) given the input control vectors, determine within a given set of admissible policy parameters, the set or sets of production policies

(1) See at the end of this text, bibliography 6.

(allocations on limited input resources) that result in minimum cost of education, or 2) given a particular set of production policies, determine within an admissible set, the time sequence of inputs and controls that will produce a given change in the output vector at minimum total cost over a period of T years. Note that within the context of either question one has the freedom to limit the parameters and controls by given values, as dictated by the judgment on the quality of the resulting product and the magnitude of the allowable or available control variables.

The model and the nature of the control problem as encountered here in the context of higher education are identical in form to the control problems encountered in the electronics and aerospace industries. The theory of control has developed rapidly in recent years, especially since the development of the electronic computer, and control systems (implemented by computers) are now widely used to regulate many industrial and technological processes. Thus a broad variety of system control policies and techniques have been developed and are available for application to socio-economic systems. However, the choice of a control policy for a socio-economic system, such as a university, is particularly challenging. The problem of determination fo the goals to be achieved has been discussed, taking into account both the social demands of the population, and the economic and cultural needs of the local, national, or world community. In addition, policy-makers must have a clear idea of how the system has been and is operating. Once the goals have been defined, it is necessary to determine how the system inputs and parameters must be modified to achieve these goals. Among all the controllable inputs of the model, those which will indice the desired changes must be identified.

In the model presented here, examples of such controllable inputs as the number of graduate assistantships, fellowships, or scholarships available to students have been used. It has also been suggested that tuition "rebates" or differentials for different areas of study might control the movement of student transitions. Undoubtedly there are other candidates for control variables, whose relation to student distribution might be examined by applying techniques such as regression analysis to existing data.

The control problem is further complicated by the large number of exogenous factors affecting the state of the system, many of them unmeasurable, and indeed, often unperceived. This implies that the parameters in the model will continually change in an unpredictable manner. The only way to counteract this change is to periodically update the parameters from data on past performance. The control of the system, in this sense, must also be adaptive; i.e., administrative control policies are continuously updated to be consistent with the prevailing behavioral parameters in the model.

For this type of control of large-scale socio-economic system, the use of a high-speed computer is clearly essential. In addition to digesting vast quantities of data in a short time, the use of a computer permits simulation of planned changes under newly-observed conditions. Examination of the response under computer simulation may help to avoid decisions that will affect the system in a way that is economically, socially or politically undesirable.

In evaluating the response of the state vector to control decisions, the concept of a metric distance on the state-space of the model may be employed. Under the control policy described, new decisions at any point in time will depend partly on the distance of the current state vector from the currently defined "goal".

It seems unlikely that a rigidly formulated policy of control could, or should, be applied to a social system as complex as a modern university. However, a clear understanding of control theory can lead to the optimal use of techniques developed in mathematics, engineering, and probability, and can help reveal the full advantage of the systems approach to social and economic problems.

III-4. The Mathematics of Control

It is not the purpose here to enter into a discussion or even a survey of optimal control theory and its application to the problems discussed here. Entire books are devoted to this subject(1). Suffice it to say that to the extent that the computation problems involved in actually evaluating optimal control strategies are feasible for institutions of higher education, the vast literature on the subject can be applied directly.

The state model of an educational institution given in [13] through [16] is a special case of the general form.

$$\underline{\Psi}(t+1) = F_1\left[\underline{\Psi}(t), \underline{q}(t), \underline{u}(t)\right], \quad \Psi(t_1) = \Psi_1 \qquad [17]$$

$$\underline{v}(t) = F_2\,(\underline{\Psi}, \underline{q}, \underline{u}, t) \qquad [18]$$

where

$\underline{\Psi}$ represents the state vector identified in the model, and

$\Psi(t_1) = \Psi_1$ represents the initial state

$\underline{q}$ is a vector of identified policy or production parameters, called control parameters, to be varied over some space Q

$\underline{u}$ is a vector of identified variables, called input controls, variable over some space U

$\underline{v}$ is a vector of identified outputs or response variables of interest

F_1 and F_2 are vector functions of the indicated vectors and the scalar t.

The system in [17] and [18] is said to be state controllable if there exist vectors $\underline{u}$ and/or $\underline{q}$ which will transfer any given state $\underline{\Psi}_1$ to a preassigned future state $\underline{\Psi}_2$ in a finite number of time intervals. It is said to be output controllable if any given output vector $\underline{v}_1$ can be transferred to a preassigned future value $\underline{v}_2$ in a finite number of time intervals. It is easy to establish that state controllability implies output controllability, but not vice versa. Indeed, the output vector may contain fewer components than the state vector.

Applying these concepts to the model of an educational institution given in [13] through [16], it is seen that the state vector is the direct sum of the student population vector $\underline{s}$ and the vector of imputed values $\underline{\hat{s}}$. However, from [13] and [14] it can also be seen that $\underline{s}(t+1)$ is a function of the financial aid vector $\underline{h}(t)$ and the outside services $\underline{o}(t)$, whereas $\underline{\hat{s}}(t+1)$ is not. Consequently, the system is clearly not state controllable with respect to $\underline{h}(t)$ and $\underline{o}(t)$. However, one can select as outputs

$$\underline{v}(t) = [I\ 0]\begin{bmatrix}\underline{s}(t)\\ \underline{\hat{s}}(t)\end{bmatrix}$$

where I is the identity matrix, and investigate further the output controllability of the system as a very meaningful question. Indeed, if

$$A = (P + K_1\, G_1\, C + K_1\, G_2\, R)$$

$$B = \left[K_1\ G_3\ K_2\ \ \underline{a}\right]$$

$$\underline{u} = \left[\underline{o}\ \underline{h}\ n\right]^T$$

(1) See at the end of this text, bibliography 7,8.

and all parameter matrices are assumed to be independent of time, then (13) takes on the form

$$\underline{s}(t+1) = A\,\underline{s}(t) + B\,\underline{u}(t) \qquad (19)$$

Applying (19) recursively for k intervals of time beginning at $t = t_1$ gives

$$\underline{s}(t_1 + k) = A_k\, s(t_1) + \left[A^{k-1} B \ \ldots \ AB \ B\right] \begin{bmatrix} \underline{u}(t_1) \\ \underline{u}(t_1+1) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \underline{u}(t_1+k-1) \end{bmatrix} \qquad (20)$$

If the matrix $\Phi = \left[A^{k-1}B \ \ldots \ AB \ B\right]$ is square and non-singular, then for given values of $\underline{s}(t_1+k)$ and $\underline{s}(t_1)$, (20) has a solution for the control vector

$$\underline{u}_k = \left[\underline{u}(t_1)\ \underline{u}(t_1+1) \ \ldots \ \underline{u}(t_1+k-1)\right]^T$$

If the solution exists, the system is said to be output controllable with the control law or control strategy given as a function of the state vector by

$$\underline{u}_k = \Phi^{-1} \left[\underline{s}(t_1+k) - A^k\, \underline{s}(t_1)\right] \qquad (21)$$

Note that $A^k\, \underline{s}(t)$ represents the solution to (19) after k intervals when $\underline{u}(t) = 0$. Consequently, the bracketed term in (21) represents the difference between the desired future state and the state that would be obtained in the absence of control, i.e., the free system error state.

If the institution, for example, has no outside services $\underline{o}$, or financial aid programs $\underline{h}$, then $\underline{u}(t) = n(t)$ is a scalar. In this special case $\underline{u}_k$ is of order k, B is a column vector. If the vector $\underline{s}$ identifies k internal states (population groups) then Φ is a square matrix of order k whose columns may, or may not, be linearly independent depending upon the properties of the matrices A^j, $j=0, \ldots, k-1$ and the behavioral vector $\underline{a}$. But even if a solution does exist the resulting inputs $n(t_1)$, $n(t_1+1)$ $\ldots$ $n(t_1+k-1)$ required for control may not be feasible. Indeed, some may be negative.

A somewhat less academic problem arises in the context of most state supported institutions where the student input $n(t)$ is determined by an essentially open door policy and cannot be regarded as a control variable. To the extent that the given model is valid, such institutions must rely on such variables as outside services $\underline{o}$ and financial aid $\underline{h}$ to control the distribution of students among the various fields and levels of study identified by the vector $\underline{s}$. If there are a total of ℓ such components of control in $\underline{u}(t)$, then $\underline{u}_k = \left[\underline{u}(t_1), \ldots, \underline{u}(t_1 + k-1)\right]^T$ is of order $k\ell$ and the coefficient matrix Φ is square when $\underline{s}$ is of order $k\ell$. Again the existence of a solution, and the feasibility of this solution depends entirely upon the behavioral and administrative parameters that combine to form the matrices A and B.

The problem of determining the parameter vector $\underline{q}$ required to transfer the system from one state to another is somewhat more complex since the state equations are almost always a nonlinear function of the components of $\underline{q}$.

In any application of practical interest there are invariably bounds on the values that the components of the control and parameter vectors can assume. The bounds on the control vectors are a consequence of limited funds for financial aid to the students and limited funds for research, etc. The bounds on the components of the parameter vector, such as student to faculty ratios and graduate assistant to faculty ratios, are imposed by judgments on quality of education.

Within the context of these very real constraints one can only search for the time sequence of parameters $\underline{q}(t)$ and controls $\underline{u}(t)$ that will take the system to a prescribed state in minimum time period, or drive the system as close as possible to the desired state in a given time period. These control problems fall within a class of optimal control problems realized by first defining a scalar object function of the state vector, the control vector and the parameter vector of the general form

$$J = G\left[\underline{u}(t_1+k)\right] + \sum_{t_1}^{t_1+k} H\left[\underline{u}(t), \underline{q}(t), \underline{v}(t), t\right] \qquad (22)$$

The optimal control problem can now be stated as : minimize J in (22) subject to the constraints that $\underline{u}(t)$ satisfies (17) and (18) and that $\underline{u}(t)$ and $\underline{q}(t)$ are within the admissable sets U and Q respectively. Note that the optimal control problems already cited are special cases of this general problem.

Since the components of the output vector $\underline{v}(t)$ and control vector $\underline{u}(t)$ span all flow streams in and out of the institution and their associated unit values or prices, the object function J in (22) can obviously be defined so as to represent the total cost of education, the total cost of control, or a weighted combination of these cost functions as evaluated over the k time periods of controls.

An alternate and less satisfactory, but perhaps a more practical approach to the control problem is through simulation, i.e., program the solution of the system model on a computing machine in such a way that the user can conveniently evaluate the consequences of many alternate control policies in a search for the "best". Such a procedure, of course, may never lead to the optimum solution, but it will in general lead to a solution that represents the best out of the set of meaningful policies and controls that the administrator considers to be worthy of consideration. Nor does such a procedure lead to a control strategy that can be implemented in on-line computer control of the educational system.

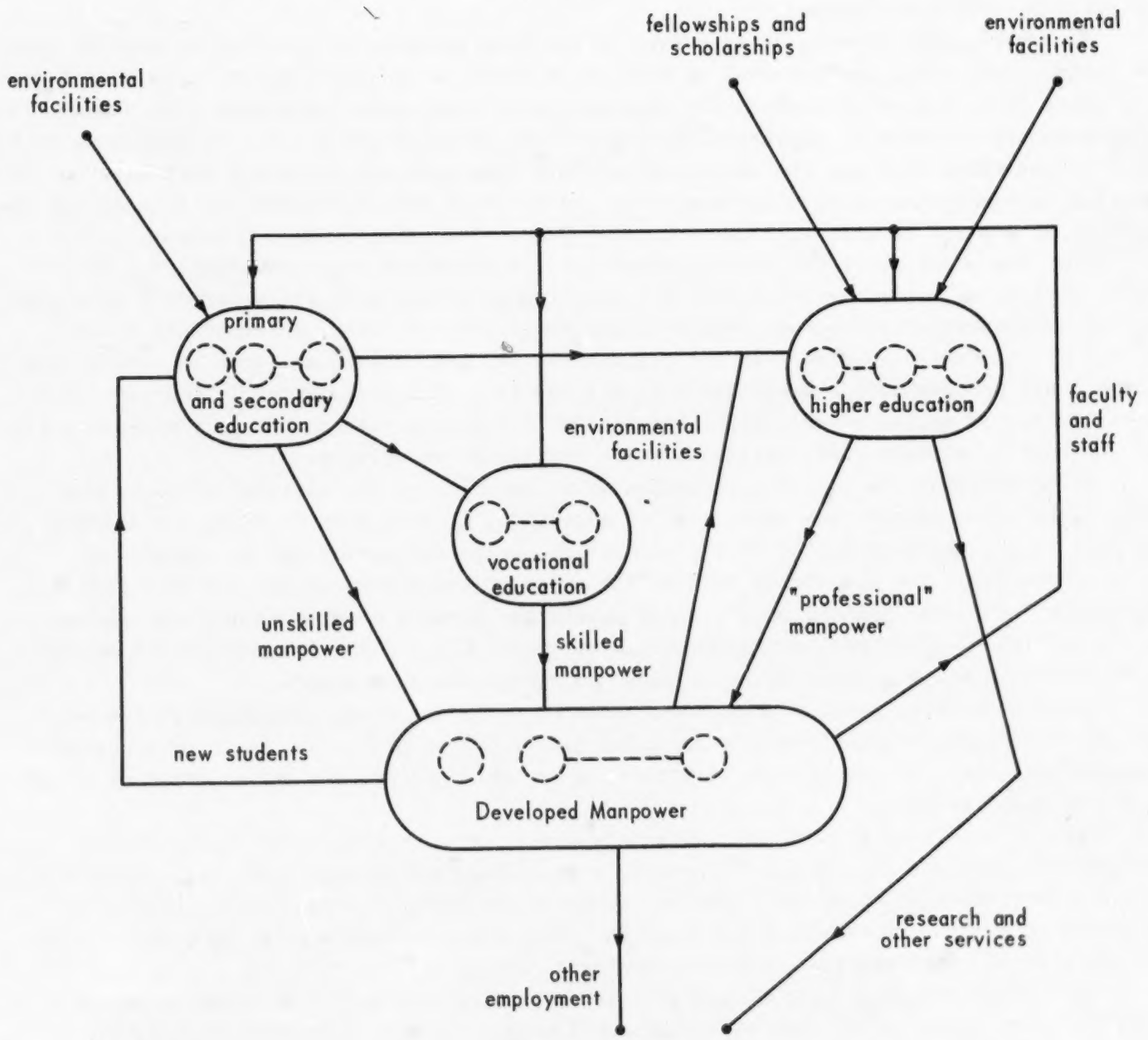
IV. Education in the National Economy

IV-1. Conceptual Form of the Model of a National Educational System

The position of the various educational institutions in the national economy can be viewed as shown in Figure 3. A stream of students originating as children born to the population in the various manpower pools, enters the sequential stages of the education system at the primary level. The educational system in turn feeds developed manpower into the various manpower pools from the various stages to form a circular or "feedback" loop. Each stage of the educational system is viewed as a production or processing stage taking faculty and other input resources to transform the student input stream into a more highly developed product. The faculty and support staff required in this process, of course, comes from the manpower pools, thereby forming a second basic circular path or feedback loop in the system.

Figure 3

BASIC STRUCTURE OF THE MANPOWER SECTOR OF AN ECONOMY



The manpower pools also serve as the source of manpower in the industrial and government sector (the rest of the economy) required to produce the goods and services consumed by the population pools. The stream of consumer goods feeding back to the manpower sector, of course, may be viewed as containing many components, and one can easily consider "imports" and "exports" from the various flow streams to account for exchanges between neighboring economic systems.

In general each flow y_i is conceived of as being measured in real units, such as numbers of units, tons, etc., per interval of time or in terms of their dollar value as measured by the price structure of an arbitrarily selected base. Also, associated with each stream, is a complementary variable x_i representing the economic value or price index of each unit of flow in the identified streams. The variation in these complementary variables with time for all streams in the system is said to completely characterize the socio-economic process and the product $\$_i = x_i y_i$, of course, represents the dollar flow rate in the i^{th} stream.

When the model presented in this report is viewed as the education component of the national economy, each institution of the educational system will yield separate estimates of the parameters of the model. From this collection of estimates, an empirical distribution may be derived for each of the parameters. The mean values may then be used in the state model representing the aggregate of all educational institutions. In addition, the distribution of values offers useful information concerning such things as the variability in the cost of educating an individual for a particular occupation.

In considering the educational system as a component of the national economy, the output $\underline{d}(t)$ of students from each level of education, in each area of study, is assumed to feed into a manpower sector of the population, whose categories may be represented by a vector $\underline{m}(t)$. The categories include all types of employment in the economy, from "unskilled" through "professional". These population sectors consume goods, and produce units of "labor" which may be represented by a vector $\underline{\ell}(t)$. They also produce new members of the population, who will return in time, to the educational system.

Clearly, a unit "value of education" determined by the production costs of the education sector, may be attributed to each category $m_i(t)$ of $\underline{m}(t)$. This value of education, together with the cost of living, determines a vector $\hat{\ell}(t)$ of unit values of labor produced by each category.

Part of the labor produced by these categories combines with other inputs of the industrial sector of the economy to produce a gross national product $Y(t)$, part is channeled into government or other "maintenance" sectors, and part is returned as input to the educational system. Excesses or deficiencies of labor may be represented by a vector $\tilde{\ell}(t)$ of positive or negative flows from each manpower category.

The values or <u>costs</u> $\underline{\hat{\ell}}(t)$ of units of labor produced are negative numbers. If the positive unit values $\underline{\hat{\ell}}'(t)$ represent the average <u>paid</u> for each category of manpower, then the vector

$$\omega(t) = \underline{\hat{\ell}}(t) + \underline{\hat{\ell}}'(t)$$

represents the positive or negative difference between the cost or imputed value of labor produced, and the price actually paid for that labor. The variables $\omega_i(t)$ are interpreted as representing the economic value which is added to manpower by the educational process. A negative value indicates that the cost of the education exceeds its value to the economy.

IV-2. Mathematical Form of the Model of a National Educational System

The transitions and inputs of manpower, and the outputs of labor of the population sector are established as

$$\underline{m}(t+1) = A\,\underline{m}(t) + \underline{d}(t) \qquad (23)$$

and

$$\underline{\ell}(t) = B\,\underline{m}(t) \qquad (24)$$

The diagonal elements of the matrix A represent the "survival" rates of the respective groups. The other elements of A represent the rates at which educated personnel revert to lower capabilities, advance to higher capabilities, train themselves in new skills, or otherwise change status. The matrix B represents the utilization rates of the various categories.

If it now assumed that both the number of units of trained manpower and the research and other services required by government and industry from the education sector, are directly proportional to the gross national product Y(t), the result is

$$\begin{bmatrix} \ell(t) \\ \\ \underline{o}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{\theta}\ell \\ \\ \underline{\theta}_o \end{bmatrix} Y(t)$$

where the vector $\underline{\theta} = \left[\underline{\theta}\ell, \underline{\theta}_o\right]^T$ represents coefficients of proportionality.

When the models characterizing the transitions and input-output flows of the educational system are combined with models of the manpower and industrial sectors, with appropriate constraints, a first approximation of the overall flows is established. An attempt to define the structure in detail will not be made. Now, however, an examination of the influence of a control variable of the education sector, such as $\underline{h}(t)$ fellowships and scholarships), on the manpower categories of the population sector can be made. In the model of a single university, the parameter matrices K_1 and K_2 (proportions of enrollment attributed to financial aid) and H_1 and H_2 (proportion of enrolled students who remain in school because of financial aid) will be distinct, because part of the financially induced enrollment will be drawn from other schools. However, in a model of the aggregated educational system, it may be assumed that $K_1 = H_1$ and $K_2 = H_2$.

The education-manpower flows as developed from equations (13), (15), and (23) will now be described. The vector $\underline{s}(t)$ represents categories of students in all levels of education.

$$\begin{bmatrix} \underline{s}(t+1) \\ \\ \underline{m}(t+1) \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{c|c} P + K_1G_1C + K_2G_2R & A' \\ \hline D(t) - K_1G_1C - K_2G_2R & A \end{array}\right] \begin{bmatrix} \underline{s}(t) \\ \\ \underline{m}(t) \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} \underline{a}(t) \\ \\ 0 \end{bmatrix} n(t) + \begin{bmatrix} K_1G_3 \\ \\ -K_1G_3 \end{bmatrix} \underline{\theta}_o\, Y + \begin{bmatrix} K_2 \\ \\ -K_2 \end{bmatrix} \underline{h}(t)$$

The matrix A' indicates transition from the labor force back into the educational sector.

The numerical value of the excess or deficiency of labor as a function of time may be represented as a function of the student and manpower populations, and the gross national product by

$$\underline{\mathcal{I}}(t) = M \begin{bmatrix} \underline{s}(t) \\ \underline{m}(t) \end{bmatrix} - \underline{\phi}\, Y(t)$$

V. Implementation

V-1. The Date Base and Data Processing Programs

The theoretical basis for a model of institutions of higher education has been established, and as discussed in Sections III-3 and III-4, the theoretical foundations exist for using the model to determine a set of policy parameters and input controls that will achieve essentially any change in state in an optimal manner as measured by any of a large class of object functions. However, all but the highly aggregated models are too complex to yield closed form solutions.

A more practical approach is simulation, where the solution to the model is programmed on the machine in such a way that the user can experiment quickly and conveniently with the consequences of various parameter policies and input controls. The interrelationships and combinations of the various choices of policies and inputs that can be ma e are so numerous as to preclude looking at all possibilities, but there is a method of trying some of these choices. The judgment of the user can be incorporated in the selection of better choices, though it may not be possible to determine the optimum solution, or even to recognize it, if it is indeed found.

The remaining steps that must be made to establish the model as a simulation tool include (a) identification of the specific components of the various flow vectors in the model and the units used to measure them, (b) development of an adequate data base from which to construct parameters and against which to measure the result of simulation and (c) actual tests of the model against historical records.

The theoretical framework of the model will accomodate essentially any number of internal states, any number of production sectors, and the resource input vectors can identify an arbitrary number of types of faculty and support facilities. Further, since the model is constructed from unconstrained models of two basic sectors - the demand and the production sectors - it can be used to simulate the input-/output characteristics of the institution as a whole or to simulate the input-/output characteristics of each sector.

The extent of the data base required to evaluate the parameters in the model depends, of course, on the number of components identified in the input, output and internal state vectors, and not all parameters need be evaluated before subparts of the model become useful instruments of decision making. Indeed, a validated model of the demand sector can be implemented to determine the academic demands the incoming stream of students will place on the production facilities quite independent of a validated model indicating how these demands can or will be met by the production sector. Likewise, the model of the production sector can be parameterized, validated and implemented as a limited tool of decision making quite-independently of the demand sector.

A fully validated model of the institution follows from the validated models of the two sectors. Consequently, all efforts relating to parameterization and validation are currently at the sector level, each of which is considered next.

(a) Demand sector :

All parameter matrices in the demand sector represent behavioral characteristics that fall into one of three categories; they describe the transitions of the student between fields and levels, the influence of fellowships, assistantships, etc., on these transitions or the academic demands the student groups place on the production sector.

All parameters except those in the second category can be and have been established from two record files; the Student Master Record and the Class Card Record.

As part of the registration process a Student Master Record is compiled each term which contains the enrollment data on each student registered for that term. At the end of the term this file is stored and becomes a part of the university historical record. These records in their present machine addressable form are available for each term since Fall 1963.

The Class Card Record contains one record for each class taken by each student. It identifies the student as well as the course, and the field-level category for both the student and the course.

With respect to Michigan State University, the best records from the point of view of completeness and machine accessibility are these student records. They serve as the basis of two data processing programs now operating. The first program generates a transition matrix P(t) between two given terms from the corresponding records supplied by the user, e.g., Fall to Winter of the same academic year or Fall to Fall of succeeding years. The user may specify his desired aggregation of departments (Michigan State University records carry the major department for each student) into fields. Thus, for example, one can study transitions among departments in a single division or college of the university, or among colleges of the university, or any other arbitrary division such as the 16 fields specified in Reference 9.

At the same time, the user may specify his desired breakdown by student level (limited only by the coding in the basic record). Most of the current investigations use six levels; freshman, sophomore, junior, senior, master's candidate and doctoral candidate. There is also coding in the records to differentiate among special categories (nondegree, extension courses, etc.) and these could also be utilized if desired.

This working program can be used now to look at any transitions that have occurred in the past. A study of past transitions in itself is useful to indicate to a specific department or college where its students are coming from, where they go, and in what quantities they move.

Figure 4 shows as a typical example, the transition matrix Fall 1963 to Winter 1964 with departments aggregated into the four fields, Engineering, Natural Science, Business and the remainder of the university, divided into the six levels mentioned above. The example also shows the number of students, by field - level combination, as column totals opposite P COUNT. The rwo labeled DROPPED is the count of dropouts, which along with the row labeled GRDUATD would be the vector $\underline{d}(t)$ in the model. The row labeled GRD ABS is the count of graduate students enrolled in term t-1 who are not listed in term t. The records now available do not carry information on graduation status, and the process for resolving this efficiency has not yet been determined, although a request has been iss ed to incorporate this information in the basic student record. In the meantime the only way to determine how many students in the GRD ABS count are in fact still graduate students is to merge this record with the graduating list. Although there is a clear solution to this problem in the future, it points up the sort of difficulty that can arise until an adequate data base is established.

Unfortunately no files currently exist which contain sufficient information to determine the influence that fellowships, assistantships, etc., have on enrollments in the various fields and levels.

This data processing program is being used currently to determine the transitions over the first several years (records date from Fall 1963) in an effort to investigate the stability of these transitions from term to term and year to year. To the extent that a pattern can be detected, a description of the pattern can be programmed and used to project

	FIELD 1						FIELD 2						FIELD 3						FIELD 4					
FLD 1	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6
LVL1	0.02																							
LVL2	0.56	0.02																						
LVL3		0.40																						
LVL4		0.08	0.81	0.18																				
LVL5				0.08	0.37																			
LVL6					0.06	0.60																		
FLD 2	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6
LVL1							0.02																	
LVL2							0.54																	
LVL3		0.04					0.03	0.46	0.03											0.03				
LVL4			0.02					0.19	0.44	0.13														
LVL5										0.09	0.46													
LVL6											0.07	0.64												
FLD 3	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6
LVL1																								
LVL2	0.05						0.02							0.51	0.02									
LVL3		0.05						0.02						0.08	0.39	0.02				0.04				
LVL4			0.02											0.28	0.60	0.07								
LVL5				0.04												0.06	0.19							
LVL6																	0.02	0.75						
FLD 4	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6	LVL1	LVL2	LVL3	LVL4	LVL5	LVL6
LVL1																			0.03					
LVL2	0.16	0.02					0.17						0.08						0.57	0.02				
LVL3		0.12						0.18						0.05					0.08	0.44	0.02			
LVL4		0.03	0.04					0.03	0.07	0.02				0.03	0.03					0.22	0.63	0.10		
LVL5										0.04							0.02					0.06	0.36	
LVL6																							0.06	0.54
DROPPED	82	85	23	129	0	2	88	51	111	195	0	0	162	137	293	355	0	0	1446	866	1096	1637	0	0
GRDUATD	0	0	0	23	0	0	1	1	0	88	0	0	0	0	0	128	0	0	1	0	0	615	0	0
GRD ABS	0	0	0	0	57	32	0	0	0	0	174	110	0	0	0	0	178	25	0	0	0	0	1211	587
P COUNT	469	401	221	99	46	54	492	374	415	129	222	221	487	564	600	91	59	81	4212	3476	2523	583	1018	755

Figure 4. A typical transition matrix for Michigan State University identifying four fields - six levels, fall 1963 to fall 1964.

transitions to future terms. Furthermore, if the transition pattern shows fields between which there is either unilateral transfer, or no transfer at all, then the total problem can be partitioned into independent or semi-independent sub-systems.

Not shown, but also as a result of this program are counts of the number of new students, $\underline{a}(t)$ $n(t)$, and these are classified as either re-enrollments from previous terms, or transfers from other schools. This latter division has not been included explicitly in the theoretical development of the model, but it can be included in a straightforward manner. It represents an example of refinements in the model that take place as the model develops in response to answering realistic problems.

A second data processing program in operation utilizes existing university records to determine the class credit hour load, $C\ \underline{s}(t)$, imposed by students on the production sectors by field and level. Again, the user may specify any arbitrary aggregation of departments into fields and any division of levels.

Figure 5 indicates a typical credit hour loading. Once more a study is needed to determine the variation of this matrix over time, but meanwhile it is useful to show for specific terms the source of teaching loads on any one department, and to examine the faculty needs of a given department as a function of the student load in other departments. A given field-level row of the matrix shows the course loading imposed by the student in the field-level indicated by a particular column. Thus departments offering service courses can see which departments they are actually serving.

(b) Production Sector

One important area where an adequate data base does not exist will now be discussed. The theoretical model clearly identifies the faculty information needed : cost of faculty (salaries, supporting staff, etc.), time allocations, rank, function (teaching, research, administration, etc.). In this particular area, the needs of the simulation effort have coincided with needs of the university administrative offices, and a data base has been designed (details are found in Reference 9). The development is complicated by a variety of problems. Standard coding procedures must be developed so data can be merged, data acquisitions must be synchronized in time, and provisions must be made to insure adequate protection against improper release and use of information, protection of individual rights and safeguards against unauthorized use.

Until this data base becomes available simulation efforts will be based on skeleton information and special studies. Much of the required data are now available, but from a variety of sources, which means that they are in various stages of updating - some are current, others may be a year or two old.

Many areas remain in which an adequate data base is not currently available, and probably will not be for the next few years. In these cases it is necessary, at least for the present, to use subjective information, or to omit them from the model, recognizing that it does not include these secondary or tertiary effects. At the present time efforts on data base developments in the area of environmental facilities are limited to areas of support that are believed to be of primary interest such as classroom space, non-academic services, laboratory space, supplies, computing facilities, etc. Among other things a complete inventory of such facilities, along with the use to which they are allocated each quarter, must be compiled. Efforts have already been initiated in cooperation with the administration to develop such a master file.

CREDIT DISTRIBUTION MATRIX

	FLD-LEV (1, 1)	FLD-LEV (1, 2)	FLD-LEV (1, 3)	FLD-LEV (1, 4)	FLD-LEV (1, 5)	FLD-LEV (1, 6)	FLD-LEV (2, 1)	FLD-LEV (2, 2)	FLD-LEV 2, 3)
FLD-LEV(1, 1)	172	20	0	0	9	0	155	10	5
FLD-LEV(1, 2)	150	80	38	5	0	0	55	50	10
FLD-LEV(1, 3)	14	69	174	77	11	0	0	20	14
FLD-LEV(1, 4)	0	23	35	129	99	0	3	3	15
FLD-LEV(1, 5)	0	4	0	11	151	97	0	0	0
FLD-LEV(1, 6)	0	1	0	0	29	73	0	0	0
FLD-LEV(2, 1)	116	42	23	15	0	0	142	23	11
FLD-LEV(2, 2)	8	71	84	34	0	0	24	72	64
FLD-LEV(2, 3)	0	0	6	16	0	0	11	59	45
FLD-LEV(2, 4)	0	0	0	8	3	0	0	7	66
FLD-LEV(2, 5)	0	0	0	3	0	0	0	0	6
FLD-LEV(2, 6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLD-LEV(3, 1)	20	3	11	6	3	0	3	6	6
FLD-LEV(3, 2)	0	0	0	0	0	0	0	0	7
FLD-LEV(3, 3)	4	4	4	8	3	4	0	0	4
FLD-LEV(3, 4)	0	0	0	0	3	0	0	4	0
FLD-LEV(3, 5)	0	0	0	4	0	0	0	0	0
FLD-LEV(3, 6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLD-LEV(4, 1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLD-LEV(4, 2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLD-LEV(4, 3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLD-LEV(4, 4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLD-LEV(4, 5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLD-LEV(4, 6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLD-LEV(5, 1)	136	52	24	12	8	0	36	12	8
FLD-LEV(5, 2)	0	3	0	3	0	0	3	4	0
FLD-LEV(5, 3)	0	0	0	7	0	0	0	0	0

Figure 5. A sub-block of a typical credit-hour demand matrix for Michigan State University identifying sixteen fields - six levels

V-2. Validation of the Model

On the subject of validation it can be said that when the proposed faculty and support facilities file is established, the production and policy coefficients at any given point in time in the model of the production sector will be a matter of record, just as the parameters in the demand sector, except for the influence of financial aids, at any given point in time are now a matter of record. Consequently, the computed cost of education by field and level at any point in time will also be a matter of record. Validation therefore reduces to a problem of establishing the extent to which the behavior parameters, evaluated at fixed points in time for the demand sector, change over a period of time. The policy coefficients in the production sector reflect administration policy, and as such, are not subject to validation in the same sense as the behavior parameters.

Confidence in the model as a decision making tool is developed only through tests designed to determine the extent to which the processes in question operate as the model indicates. But, criteria must first be formulated to use in deciding whether the model is adequate. These criteria may be applied directly to the systems model or to the components themselves, conceptually isolated from one another, as already indicated in Section V.1.

In the latter context, the parameter matrices in the demand sector of the university model can be divided into two classes : those related to population movement through the university, and those related to the demands the population places on the university resources. The transition of the state vector of student population distribution from one time period to another is governed by the transition matrix $P(t)$ and the new-arrival distribution vector $\underline{a}(t)$. Estimates of the entries $P_{ij}(t)$ and $a_i(t)$ can be made from the Student Record files described in Section V.1. Using these estimates, or suitable modifications, it should be possible to predict future values of the state vector, or to simulate patterns of transition under various changes in the parameter values.

Initial attempts so far at fitting the model, have disregarded the assumed control variables $\underline{g}(t)$ and $\underline{h}(t)$ (graduate assistantships and other forms of financial help), i.e., the transitions of the system are assumed to be given in terms of equation /1/. In the future, attempts will be made to separate the effects of financial aid in each category, so as to establish the coefficient matrices K_1 and K_2. It should be noted that if $\underline{g}(t)$ and $\underline{h}(t)$ are the only outside influences (controls), then the transition matrix in equation /2/ should be relatively stable compared to that in equation /1/. However, it is evident that other influences exist and it is hoped that a time study of the transition matrix will help to identify some of these influences and include them as additional control variables.

A criterion for determining the accuracy of the model may be based on a "distance" measurement, or metric, on the state-space of all vectors of the form $\underline{s}(t)$. Let us assume that a matrix $P(t-k)$ and a vector $\underline{a}(t-k)$ have been determined, based on actual student transitions from some past time period $t-k-1$ to time period $t-k$, and from new student distributions for the same periods. A "predicted" student population vector $\underline{s}'(t-k+1)$ may then be determined. The "distance" $m[\underline{s}(t-k+1), \underline{s}'(t-k+1)]$ between the predicted student distribution and the actual known student distribution for the same period provides a measure of the error of the model. The model may be regarded as satisfactory if this error is less than some predetermined value. The same criterion may be used to evaluate predictions spanning more than one time period.

It is hoped that an estimate of $P(t)$ based on the actual student transitions will provide an adequate prediction of the state vector over a short time interval. However,

it is conjectured that the transition proportions, rather than remaining stable, will display trends when observed over a longer range. It is then necessary to regard a series of estimates of P and $\underline{a}$, based on several successive transitions of the student population, as observations on a set of time series, one time series for each entry in the matrix and the vector. With enough observations,it is possible to estimate the parameters as functions of time, e.g.,

$$\tilde{p}_{ij}(t) = a_{ij} + b_{ij} + \epsilon_{ij}(t)$$

or as autoregressive functions of previous values, e.g.,

$$\tilde{p}_{ij}(t) = a_{ij} + \left[b_{ij} + c_{ij}t \right] p_{ij}(t-1) + \epsilon_{ij}(t)$$

In these equations, the $\epsilon_{ij}(t)$ are errors due to random variability or "noise". Once the coefficients for a regression equation have been estimated from data based on past transitions, the matrix P(t) and the vector $\underline{a}(t)$ may be appropriately modified for future time periods and correlated with corresponding changes in outside influences.

A restriction imposed on the predicted values is

$$\sum_{i=1}^{N} p_{ij}(t) + \delta_j(t) = 1, \quad \text{and} \quad \sum_{i=1}^{N} a_i(t) = 1$$

where $\delta_j(t)$ is the proportion of students in category j who leave the university. If an independent time series estimate of $\delta_j(t)$ is made, the predicted values may be normed by dividing each $\tilde{p}_{ij}(t)$ by $\sum_{i=1}^{N} \tilde{p}_{ij}(t) + \delta_j(t)$, and each $a_j(t)$ by $\sum_{j=1}^{N} a_j(t)$.

Two problems arise in validating the student transition matrix. One is the fact that a relatively long set of observations of actual student transition patterns must be made before reasonably accurate regression equations can be determined. Over a short period of time, random variability may be mistaken for trend. Secondly, since the university is a dynamic and constantly-changing systemn the categories being used,however they may have been defined, may change in number or in nature. The introduction of new departments, the consolidation of old ones, the development of new areas of study, the founding of a school of law or medicine, may perturb the transition patterns in a way that defies mathematical prediction. In this case, it would be difficult to obtain valid time series for all categories, even if the data for many years' transitions are available. It is suggested, therefore, that statistical prediction of changes in parameters must be supplemted by subjective evaluation, by experienced university administrators, of the probable effects of the types of changes mentioned.

In addition to describing the population movement through the university, the demand sector of the model must reflect the demands of these students in terms of hours of teaching and research-teaching needed. The matrices C and R, which establish these demands as proportional to the population in each category, may be estimated from known student credit demands during any time period. For students in any given category, an average demand for course credit hours may be determined directly from university records as discussed in Section V.1. There are some difficulties encountered in establishing the coefficients that relate to research-teaching, since student registrations for course credits of research do not in general reflect the number of hours of participation. The matrix R must therefore be based on other methods of evaluation or the registration policy must be changed.

It is also natural to assume that the parameters in the production sector matrices F_k, G_k, and E_k will not remain stable over long periods. However, unlike the demand matrix

P(t), which may change in response to social attitudes outside the control of university administrators, the matrices in the production sector are policy parameters which are subject to adjustment by the administrators, within the constraints of the system. For example, if the projected requirement of faculty services is unfeasible in terms of availability of new staff members, it may be decided that the ratio of support facilities, such as closed circuit television, to faculty must be increased. Such things as the proportion of higher-ranking faculty participating in the undergraduate teaching are areas where policy decisions of the administration induce changes in the parameters of the production sector.

Assuming for the moment that the transition parameters discussed above have been determined to a suitable degree of accuracy, so that future population states of the system, and its demands, theoretically can be predicted, there are many factors affecting student behavior which have not been, or cannot be, incorporated in the mathematical model. Therefore, even with "known" parameters, predictions of the state of the system will be accurate only within some degree of error, this error being caused by exogenous influences. What can be said about the purely random variability of predictions for the individual categories, apart from the errors of the model ?

In considering the random variability of individual estimates, one may regard the entries $P_{ij}(t)$ of the transition matrix P(t) as probabilities. Let this matrix be augmented by adding to it the (N+1) row vector

$$\underline{s}(t) = \left[s_1(t),\ s_2(t),\ \ldots,\ s_N(t),\ 0 \right]$$

and the (N+1) column vector

$$\underline{a}(t) = \left[a_1(t),\ a_2(t),\ \ldots,\ a_N(t),\ 0 \right]^T$$

which describe, respectively, the proportion of departers from each category, and the proportion of new arrivers for each category, during the t^{th} time period. The augmented matrix

$$M(t) = \begin{bmatrix} P(t) & \underline{a}(t) \\ \underline{s}(t) & 0 \end{bmatrix}$$

may now be regarded as a matrix whose N+1 columns form N+1 independent multinomial probability distributions.

Assume for the moment that the entries in M(t) are known probabilities, and that $\underline{s}(t)$ and n(t) are known. The state vector is now a random vector $\tilde{\underline{s}}(t+1)$ with

$$E\left[\tilde{\underline{s}}(t+1) \right] = P(t)\ \underline{s}(t) + \underline{a}(t)\ n(t)$$

so that our predicted state for period (t+1) is given as a vector of mean values. Similarly,

$$E\left[\tilde{\underline{d}}(t) \right] = D(t)\ s(t)$$

Because of the assumed independence, the variance of the prediction for category i can be computed as

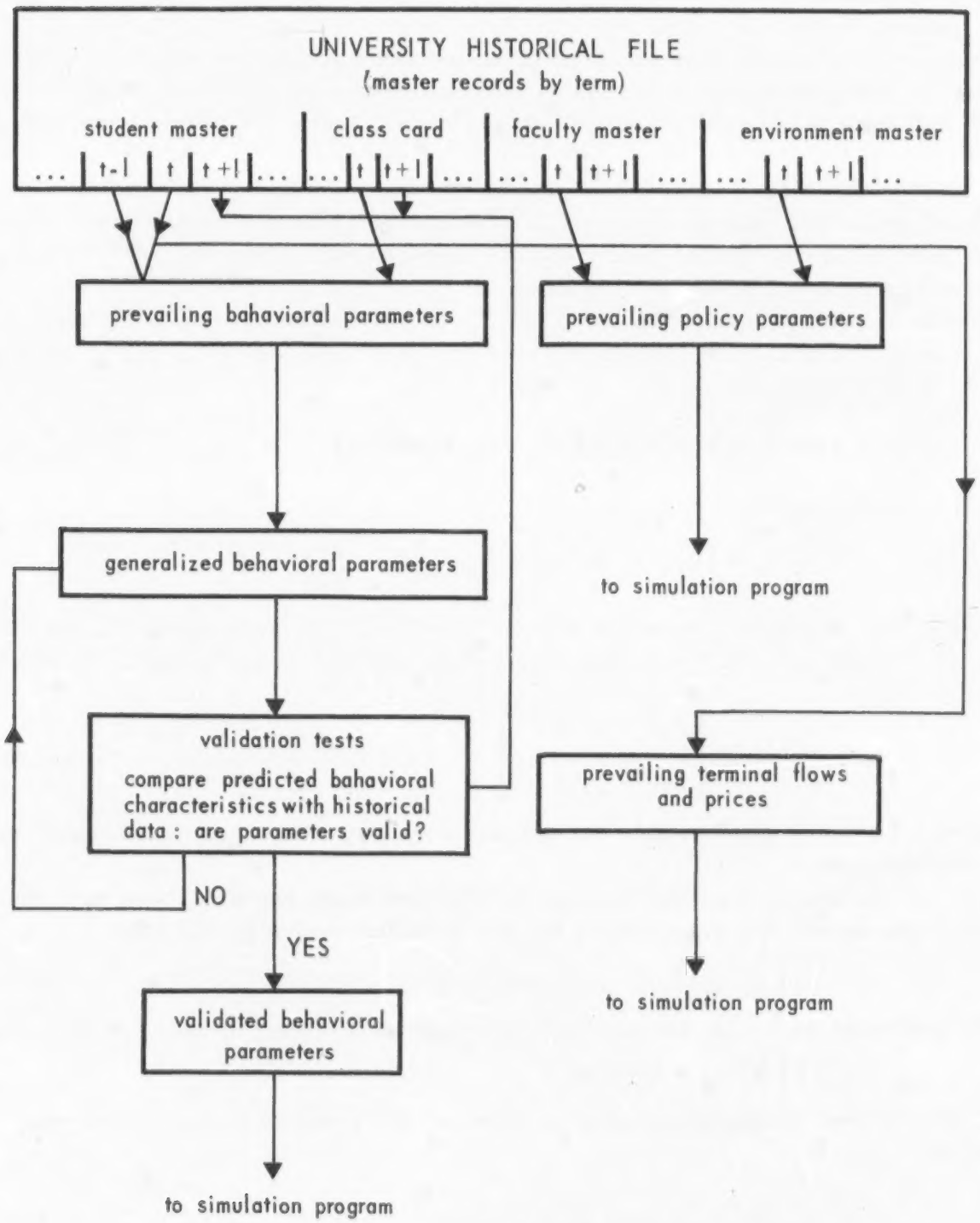
$$\mathrm{Var}\left[\tilde{s}_i(t+1) \right] = \sum_{i=1}^{N} p_{ij}(t)\left[1 - p_{ij}(t) \right] s_i(t) + a_i(t) \left[1 - a_1(t) \right] n(t)$$

and

$$\mathrm{Var}\left[\tilde{d}_i(t) \right] = s_i(t)\left[1 - s_i(t) \right] s_i(t)$$

Figure 6

LOGICAL FLOW DIAGRAM OF DATA PROCESSING PROGRAM
FOR EVALUATING AND UPDATING PARAMETERS IN SIMULATION MODEL



These variances provide a measure of the probable errors in prediction due to exogenous factors or to "human inconsistency", even if the transition and distribution probabilities are known. Administrators may then be prepared for large fluctuations in the predicted enrollments in certain categories.

V-3. Simulation Programs

In parallel with the efforts to develop adequate data bases, to refine and to validate the models of the basic sectors in the system structure, work has begun toward constructing programs to carry out various phases of the general simulation. Figure 6 presents a logical flow chart of the data processing system that is ultimately to provide the "input" to the simulation program. As indicated in section V.1 programs for evaluating the behavioral parameter matrices P, a, n, and C are now operational, and master files for evaluating the remaining parameter matrices and terminal variables prevailing at any given point in time are currently under development. Until sufficient data are available against which to validate and refine the models of the demand and production sectors, use of a simulation program as a tool for decision making is, of course, limited. Nonetheless, the mechanics of the simulation program can be developed with provision for future refinements and alterations that are not explicit at the present time.

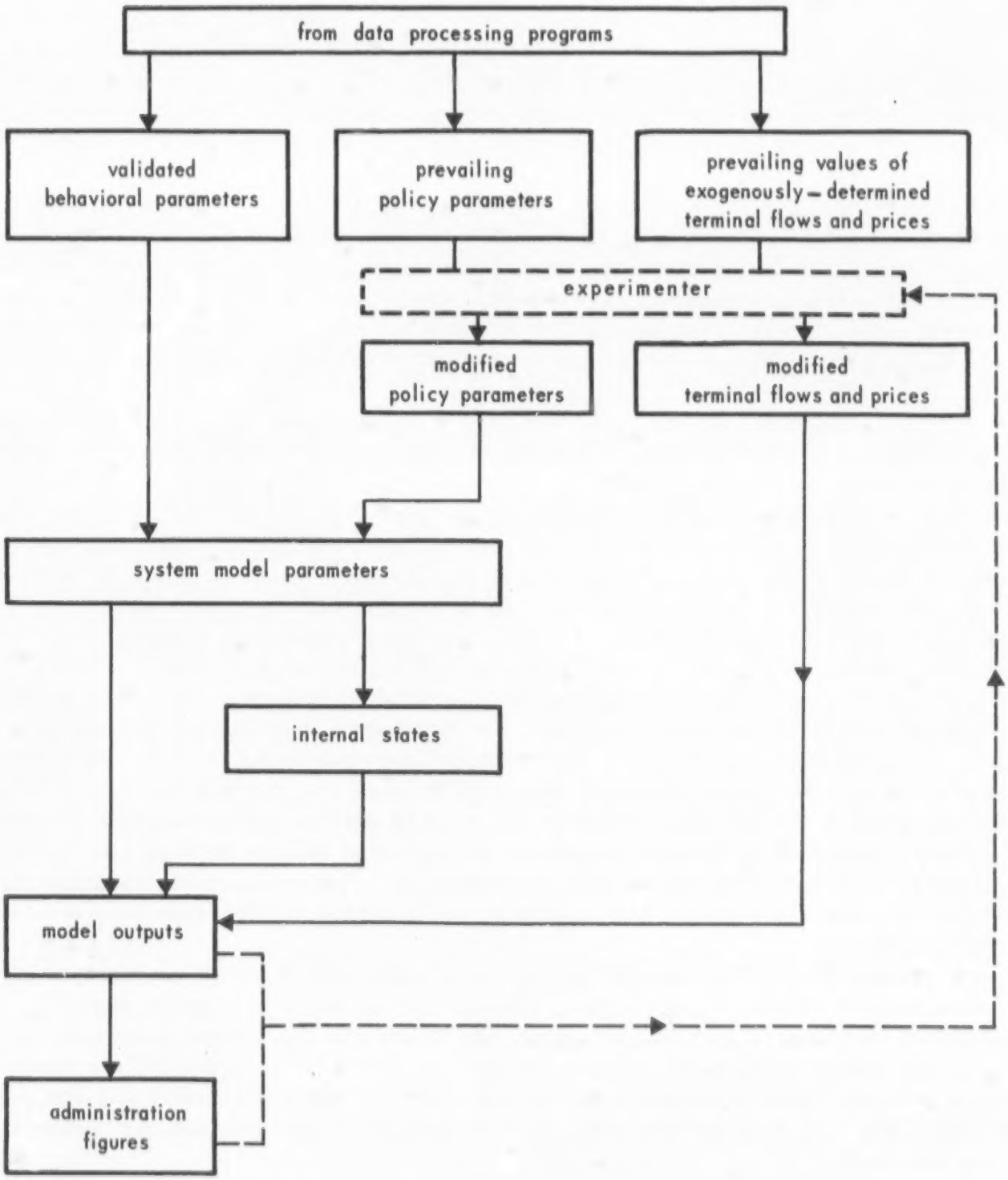
A logical flow chart of the final simulation program as it is presently envisaged is given in Figure 7. Note that in this program the user normally would regard the behavioral matrices as fixed parameters (perhaps varying with time in a predetermined manner) over which he exercises no control except possibly for perturbations as in sensitivity studies. On the other hand, the policy matrices and terminal variables as given to him from the data processing programs are to be regarded simply as reference points on a set of parameters and boundary conditions and controls that can be varied (within certain bounds) in a wide variety of simulation experiments. The broken "feedback" connection leading from the output of the simulation program to the "experimenter" is to indicate that, in general, the user will use the results of one experiment as a guide in selecting the policy parameters and terminal variables (including controls) for succeeding experiments. This is particularly true if the user is searching for the "optimum" policies or controls to use in the face of limited budgets or other resources. This link between the user and the output of the simulation program implies that output of the program must be appropriately displayed and the user must have convenient access to the computing machine so that the "turnaround" time between experiments is not excessive. Ideally the user should have the capability of sitting at a console and having the results of his experiments displayed immediately on a screen before him.

The simulation program depicted by the logic diagram in Figure 7 has been developed only to a limited extent. Figure 9 shows some of the results of a typical simulation using hypothetical parameters. In this particular experiment six field-level categories were defined. The number of students in each category is shown along with those who carry over from the previous term, those who enter as new students, those who depart and the net population. The remaining columns show the credit-hours of lectures and the number of faculty required.

A print out of the form shown in Figure 9, of course, contains a lot of information - in fact too much to be of immediate value to the user involved in a series of experiments directed to a particular administrative question. Consequently, provisions are being included whereby the user can specify what information he wants to see and can have this

Figure 7

LOGICAL FLOW DIAGRAM OF SIMULATION PROGRAM FOR EXPERIMENTING WITH ALTERNATE POLICY PARAMETERS AND CONTROLS



A(I,J)=FRACTION AT JTH FIELD-LEVEL AND TIME N-1 MOVING TO ITH FIELD-LEVEL AT TIME N.
B(I) =FRACTION ENTERING SYSTEM AT ITH FIELD-LEVEL AT TIME N.
PSI(N-1)=STUDENT DISTRIBUTION AT TIME N-1.
C(I,J)=CREDIT-HOUR REQUIREMENTS IMPOSED ON ITH FIELD-LEVEL FACILITIES BY JTH FIELD-LEVEL STUDENTS.
D(I) =FRACTION LEAVING SYSTEM FROM ITH FIELD-LEVEL AT TIME N-1.
E1 =FTE/SCH OF ITH FACULTY RANK-FIELD-LEVEL TIME REQUIRED TO SERVICE JTH FIELD-LEVEL STUDENT CREDIT HOURS.
E2 =FTE OF ITH FACULTY-RANK-LEVEL TO PRODUCE $1000 RESEARCH.
G1(N) =$/SCH FOR SUPPORT OF NTH FIELD-LEVEL.
G2 =$ SUPPORT / $ OUTPUT RESEARCH.
XF(N) =$ / FTE FOR NTH FACULTY RANK-FIELD-LEVEL.
XS =$ SUPPORT FACILITIES / PHYSICAL FACILITY.

A(I,J)	0.45	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
	0.33	0.44	0.00	0.01	0.01	0.00
	0.00	0.05	0.69	-0.00	-0.00	-0.00
	0.03	-0.00	-0.00	0.51	0.00	-0.00
	0.09	0.04	-0.00	0.41	0.47	-0.00
	-0.00	0.01	-0.00	-0.00	0.06	0.62
B(N)	0.40	0.10	0.08	0.30	0.06	0.06
PSI(N-1)	750.00	550.00	150.00	500.00	450.00	300.00
C(I,J)	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	48.00	0.00	0.00	3.00	0.00
	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	3.00
	36.00	3.00	0.00	42.00	15.00	0.00
	6.00	36.00	6.00	3.00	57.00	15.00
	0.00	3.00	12.00	0.00	15.00	30.00
D(N)	0.10	0.46	0.31	0.06	0.46	0.38
E1(N)	0.000600	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	0.000100	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	0.000000	0.001500	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	0.000000	0.001000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	0.000000	0.000000	0.001000	0.000000	0.000000	0.000000
	0.000000	0.000000	0.003000	0.000000	0.000000	0.000000
	0.000000	0.000000	0.000000	0.001200	0.000000	0.000000
	0.000000	0.000000	0.000000	0.000800	0.000000	0.000000
	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.001200	0.000000
	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.001500	0.000000
	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.001000
	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.002000
E2(N)	0.06	0.04	0.06	0.03	0.05	0.03
	0.05	0.03	0.05	0.03	0.04	0.05
G1	10.00	12.00	20.00	8.00	11.00	17.00
G2	0.50					
XF	8500.00	12500.00	10000.00	13000.00	12000.00	16000.00
	7500.00	10000.00	8000.00	11000.00	10000.00	14000.00

Figure 8. Typical use input data to a limited version of the simulation program represented in Figure 7.

TERM 1 NEW STUDENTS= 500 25 THOUSAND DOLLARS RESEARCH SUPPORT.

FLD-LVL	N-1 TO N AU STDNTS	F-L	TOTAL	STU LVNG	CR-HR RQD	YF		YFR		XCW
1	342	200	542	75	1625	0.97	56.62	1.50	1.25	16.35
2	502	50	552	251	28126	0.16	37.75	1.00	0.88	40.00
3	129	40	169	47	5304	42.19	71.84	1.38	1.13	80.00
4	277	150	427	31	47181	28.13	89.79	0.88	0.88	25.00
5	509	30	539	205	59863	5.30	19.23	1.13	1.00	37.10
6	219	30	249	114	19228	15.91	38.46	0.75	0.75	55.00
DX1T,PSIT,YOT	1978	500	2478	722	YS,YS2,XR	182266	5.65	12.50		5325.00

TERM 2 NEW STUDENTS= 500 25 THOUSAND DOLLARS RESEARCH SUPPORT.

FLD-LVL	N-1 TO N AU STDNTS	F-L	TOTAL	STU LVNG	CR-HR RQD	YF		YFR		XCW
1	247	200	447	54	1341	0.80	50.01	1.50	1.25	16.35
2	434	50	484	252	24849	0.13	35.34	1.00	0.88	40.00
3	142	40	182	52	5579	37.77	67.24	1.38	1.13	80.00
4	234	150	384	26	41675	24.65	84.04	0.88	0.88	25.00
5	502	30	532	246	56030	5.58	18.30	1.13	1.00	37.10
6	193	30	223	95	18295	16.74	36.59	0.75	0.75	55.00
DX1T,PSIT,YOT	1752	500	2252	725	YS,YS2,XR	168393	0.74	12.50		5325.00

TERM 3 NEW STUDENTS= 750 40 THOUSAND DOLLARS RESEARCH SUPPORT.

FLD-LVL	N-1 TO N AU STDNTS	F-L	TOTAL	STU LVNG	CR-HR RQD	YF		YFR		XCW
1	204	300	504	45	1513	0.91	54.57	2.40	2.00	16.35
2	373	75	448	221	23025	0.15	36.38	1.60	1.40	40.00
3	148	60	208	56	6271	34.54	65.20	2.20	1.80	80.00
4	210	225	435	24	45478	23.03	81.50	1.40	1.40	25.00
5	470	45	515	243	54333	6.27	18.17	1.80	1.60	37.10
6	175	45	220	85	18169	18.81	36.34	1.20	1.20	55.00
DX1T,PSIT,YOT	1579	750	2329	673	YS,YS2,XR	168722	5.80	20.00		5325.00

TERM 4 NEW STUDENTS= 750 40 THOUSAND DOLLARS RESEARCH SUPPORT.

FLD-LVL	N-1 TO N AU STDNTS	F-L	TOTAL	STU LVNG	CR-HR RQD	YF		YFR		XCW
1	230	300	530	50	1591	0.95	57.37	2.40	2.00	16.35
2	375	75	450	204	23212	0.16	38.25	1.60	1.40	40.00
3	164	60	224	64	6700	34.82	66.77	2.20	1.80	80.00
4	237	225	462	27	47812	23.21	83.47	1.40	1.40	25.00
5	486	45	531	235	55644	6.70	18.53	1.80	1.60	37.10
6	173	45	218	84	18528	20.10	37.06	1.20	1.20	55.00
DX1T,PSIT,YOT	1665	750	2415	664	YS,YS2,XR	173802	0.16	20.00		5325.00

TERM 5 NEW STUDENTS= 750 40 THOUSAND DOLLARS RESEARCH SUPPORT.

FLD-LVL	N-1 TO N AU STDNTS	F-L	TOTAL	STU LVNG	CR-HR RQD	YF		YFR		XCW
1	242	300	542	53	1627	0.98	59.05	2.40	2.00	16.35
2	386	75	461	205	23774	0.16	39.37	1.60	1.40	40.00
3	175	60	235	69	7002	35.66	68.88	2.20	1.80	80.00
4	252	225	477	29	49208	23.77	86.10	1.40	1.40	25.00
5	507	45	552	242	57400	7.00	18.99	1.80	1.60	37.10
6	172	45	217	83	18991	21.01	37.98	1.20	1.20	55.00
DX1T,PSIT,YOT	1734	750	2484	681	YS,YS2,XR	178952	2.61	20.00		5325.00

TERM 6 NEW STUDENTS= 750 40 THOUSAND DOLLARS RESEARCH SUPPORT.

FLD-LVL	N-1 TO N AU STDNTS	F-L	TOTAL	STU LVNG	CR-HR RQD	YF		YFR		XCW
1	248	300	548	54	1644	0.99	60.03	2.40	2.00	16.35

Figure 9. Typical machine printout of a limited version of the simulation program represented in Figure 7.

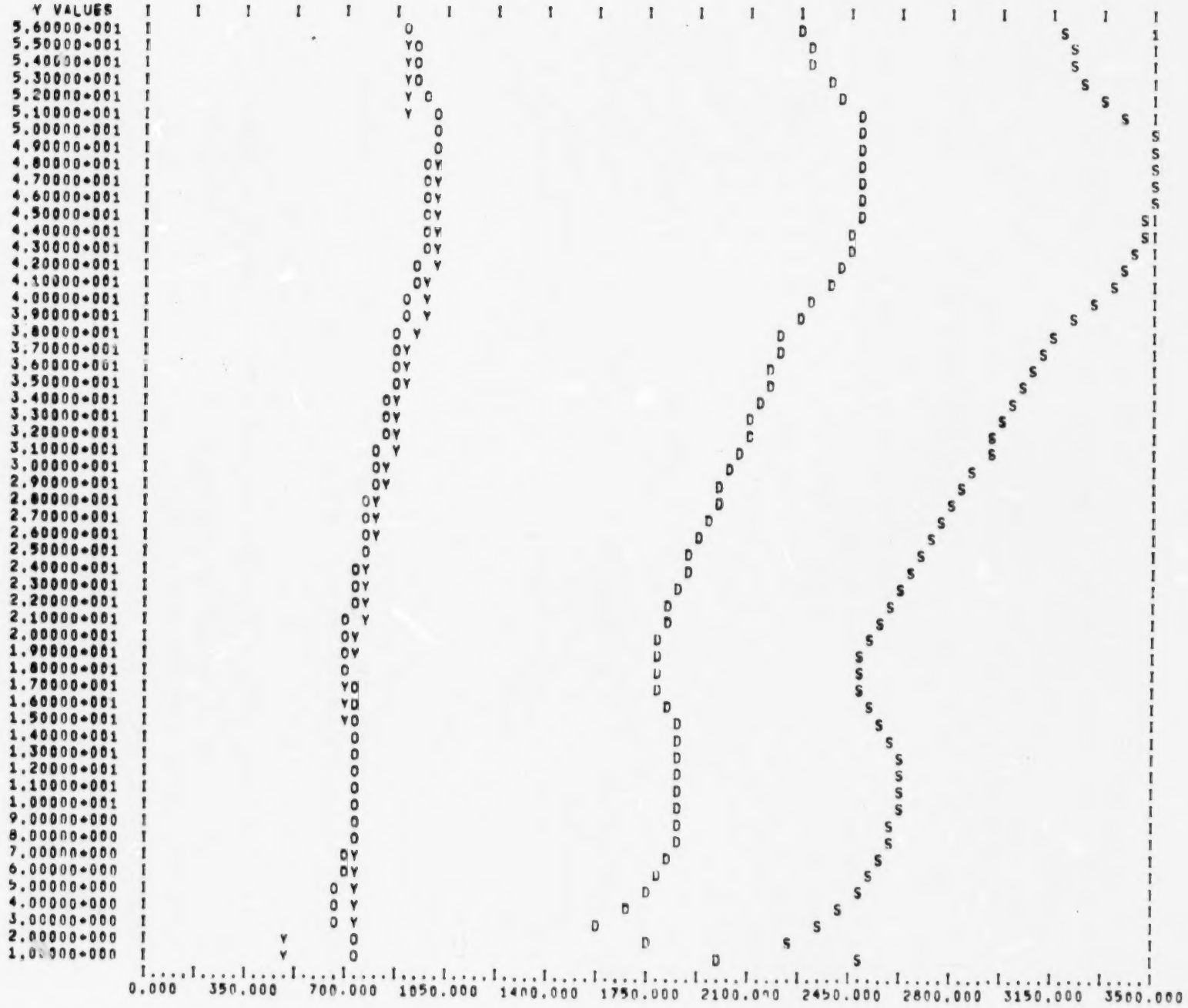


Figure 10. Typical coordinate plots of selected outputs of a limited version of the simulation program represented in Figure 7; (Y)-- incoming students, (O)--departing students, (D)--students in transition and (S)--total enrollment

displayed in the form of a set of curves such as that shown in Figure 10. This display shows the student population s over 56 terms in an experiment using hypothetical parameters. In this display Y indicates the arriving students, O the departing students, D the students remaining in the system from one term to the next.

BIBLIOGRAPHY

1. Brown, Byron W., Jr. and Savage, I. Richard, "Methodological Studies in Educational Attendance Prediction", University of Minnesota Department of Statistics (Report) 1960
2. Gani, J., "Formulae for Projecting Enrollments and Degrees Awarded in Universities", Journal of the Royal Statistical Society, Series A, Vol. 126, Part 3, 1963
3. Stone, Richard, "A Model of the Educational System", Minerva, Vol. III, No. 2, Winter, 1965
4. Tinbergen, Jan and Bos, H.C. : "Econometric Models of Education", Organization for Economic Cooperation and Development, Paris 1965
5. Merch, John W., "A Markovian Model for Projecting Movements of Personnel through a System", Personnel Research Laboratory, Aerospace Medical Division, Air Force Systems Command, No. PRLTR-656, March 1965
6. Bellman, R., "Control Theory", Scientific American, Vol. 211, No. 3, September 1964
7. Athens, Michael and Falb, Peter L., "Optimal Control", McGraw-Hill Book Co., New York, 1966
8. Tou, Julius T., "Modern Control Theory", McGraw-Hill Book Co., New York, 1966
9. "A Systems Approach to Higher Education" Interim Report No. 3, Project C-396, National Science Foundation, Division of Engineering Research, Michigan State University, East Lansing, Michigan

NOMENCLATURE

The variable and parameters used in the model of an institution of higher education as developed in this report are as follows :

Variables :

$\underline{a}(t)$ $n(t)$	vector of students by field and level entering at the beginning of term t
$\underline{c}(t)$	vector credit hours of lecture demanded by student population within the institution during time period t
$\hat{\underline{c}}(t)$	imputed value of $\underline{c}(t)$
$\underline{d}(t)$	vector of students by field and level leaving the institution during time interval t
$\hat{\underline{d}}(t)$	imputed value of $\underline{d}(t)$
$\underline{e}(t)$	vector of support facilities by types required for time period t
$\hat{\underline{e}}(t)$	price per unit of $\underline{e}(t)$
$\underline{f}(t)$	vector of faculty by rank required for time period t
$\hat{\underline{f}}(t)$	price per unit of $\underline{f}(t)$

$\underline{g}(t)$ vector of graduate assistants by field required for period t

$\hat{\underline{g}}(t)$ price per unit of $\underline{g}(t)$

$\underline{h}(t)$ vector of fellowships for time period t

$\hat{\underline{h}}(t)$ unit value of $\underline{h}(t)$

$n(t)$ gross number of students entering at beginning of time t

$\hat{n}(t)$ imputed value of $n(t)$

$\underline{o}(t)$ vector of outside services by type contracted for period t

$\hat{\underline{o}}(t)$ imputed value of $\underline{o}(t)$

$\underline{r}(t)$ vector of research teaching credit hours demanded by the student population within the institution during period t

$\hat{\underline{r}}(t)$ imputed value of $\underline{r}(t)$

$\underline{s}(t)$ vector of student populations by field and level during period t

$\hat{\underline{s}}(t)$ imputed value of $\underline{s}(t)$

Parameter matrices :

C demand matrix whose coefficients have dimensions of student credit hours of lecture per student

R demand matrix whose coefficients have dimensions of student credit hours of research teaching per student

$\begin{bmatrix} P(t) \\ D(t) \end{bmatrix}$ Markov matrix describing the movement of students among fields and levels within the university and the associated departures

K_1 behavioral matrix representing the relative effectiveness of assistantships in attracting students and whose coefficients have the dimensions of students per assistantship

K_2 behavioral matrix representing the relative effectiveness of scholarship in attracting students and whose coefficients have the dimensions of students per scholarship

H_1, H_2 behavioral matrix representing the relative decrease in enrollment in the absence of assistantships and scholarships and whose coefficients have the same dimensions as K_1 and K_2 respectively

F policy matrix of the production sector whose coefficients have dimensions of equivalent full time faculty per student credit hour of lecture or research teaching or full time faculty per unit of outside service

G policy matrix of the production sector whose coefficients have the dimensions of equivalent full time graduate assistants per student credit hour of lecture or research teaching or full time graduate assistants per unit of outside service

E policy matrices of the production sector whose coefficients have the dimensions of units of environmental facilities per unit of student credit hour of lecture or research teaching or units of environmental facilities per unit of outside services

RESUME

MODELES ETAT-ESPACE

POUR DES ETABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT

I. Introduction

L'élaboration d'un modèle mathématique dynamique de l'université vise au moins trois objectifs principaux. En premier lieu, l'analyse de la structure et des procédures existantes clarifie les rapports entre les différentes parties de l'établissement; en outre, les méthodes que suivent les administrateurs de l'université pour répartir des ressources limitées en réponse à une demande qui est en constante évolution, sont décrites quantitativement. Le modèle révèle des tendances ou des modifications dans la demande, l'output et les prises de décision qui se sont produites ou sont en voie de se produire. Le modèle isole ce que l'on peut appeler les variables de contrôle du système - c'est-à-dire les facteurs qui peuvent être manipulés par les décideurs à l'intérieur ou à l'extérieur de l'université et auxquels le système universitaire répond par un changement de ses caractéristiques d'input-output.

En deuxième lieu, le modèle mathématique sert à guider la formulation de politiques à long terme et à expérimenter diverses variantes d'allocation des ressources, au fur et à mesure que demande et besoins se modifient. Ces expériences appelées simulations sont en général réalisées grâce à un ordinateur.

Enfin, un modèle bien conçu peut également être utilisé pour simuler l'interaction des établissements d'enseignement supérieur et de l'économie nationale. De ce point de vue, c'est un instrument d'investigation de la demande née du développement économique et social; il sert à vérifier, sur le plan national, des variantes de politique du développement de l'enseignement supérieur en réponse aux changements économiques et sociaux.

Les administrateurs chargés de la planification dans les universités des Etats-Unis doivent tenir compte à la fois des besoins dictés par l'évolution économique, culturelle et sociale, et des demandes d'une population scolaire en expansion. D'une part, toute université qui a adopté une politique d'admission relativement libérale n'a que peu de contrôle ou n'en a pas du tout, sur l'ampleur et les points d'impact des demandes que la population scolaire exerce sur les ressources dont elle dispose. D'un autre côté, la formulation des politiques doit répondre aux besoins en main-d'oeuvre d'une économie en évolution, et aux besoins d'importants secteurs d'étude que déterminent certains programmes urgents dans le domaine social et scientifique. A ce titre, la demande peut s'exercer à trois niveaux différents : la demande traditionnelle, locale ou régionale, les besoins nationaux, et les obligations que les rapports avec les autres nations imposent à l'enseignement.

La planification fondée sur les demandes de la population scolaire est dans une large mesure une planification de réponse. Par contre, la planification qui fait face aux besoins économiques et sociaux implique que les objectifs soient d'abord définis avant que les ressources de l'université soient réparties pour y répondre. Soulignons ici que l'on a délibérément évité de donner une définition explicite des "objectifs" de l'enseignement supérieur, qui varient selon les sociétés, les régions et les conceptions philosophiques.

Ces objectifs ne présentent pas d'intérêt immédiat pour la mise au point d'un modèle mathématique. On parlera ici de l'hypothèse générale que les conditions économiques et sociales comptent parmi les facteurs déterminants. C'est par l'intermédiaire des paramètres de politique et des variables de contrôle formulées sous forme d'un modèle, que ce que doit être la réponse du système est déterminée. Il faut noter cependant que dans une société dynamique les objectifs eux-mêmes varient avec le temps, de sorte que l'on doit admettre que le système puisse évoluer dans la bonne direction sans jamais atteindre l'état idéal.

En procédant à l'allocation des ressources, les administrateurs peuvent être amenés à tenir compte de toute une série de variables telles que : l'effectif des étudiants, la qualité de leur préparation, certains facteurs de prestige, la qualité de la faculté, les opportunités d'emploi pour les diplômés et les besoins scientifiques et sociaux les plus urgents. Quelle que soit la situation, on est finalement obligé, dans la mise au point d'un modèle, de n'utiliser que les seules variables qui soient mesurables : heures de cours et de recherche, niveaux d'instruction des étudiants, espace en mètres carrés des constructions scolaires, temps de travail global du corps enseignant et coûts unitaires des ressources. Il est possible, cependant, que quelques-uns des aspects les moins quantifiables du système qui sont pris en compte dans le processus d'allocation, puissent finalement être exprimés sous forme de données qui sont reliées aux variables indiquées ci-dessus ou à d'autres variables mesurables. Mais, il est difficile d'admettre que tous les aspects d'un système scolaire puissent être quantifiés et intégrés dans un modèle mathématique, qui, en conséquence, est un instrument de décision imparfait.

Le modèle qui fait l'objet de ce rapport ne tient compte que des éléments qui peuvent être énoncés en termes de flux d'effectifs, de biens et de services, et de leurs valeurs unitaires mesurées en dollar. Le problème de la quantification de la "qualité" et de "l'efficacité" du programme d'enseignement - dans la mesure où ces deux facteurs sont liés aux politiques de l'université - ont fait l'objet d'études préliminaires; ces variables cependant n'ont pas été incorporées dans le modèle. D'autre part, aucune étude de comportement concernant la demande émanant des étudiants n'a été entreprise.

Même dans le contexte de variables quantifiables, le modèle est sans nul doute plus stochastique que déterministe, c'est dire que les paramètres et les variables sont décrits en terme de valeurs moyennes ou attendues. Les allocations sont fondées sur les besoins probables et sont invariablement quantifiées d'après les pénuries ou les excédents temporaires de locaux scolaires, de professeurs, etc. Les besoins du milieu sont examinés dans le modèle en termes de besoin attendu ou moyen, et de possibilités de variation.

Bien entendu, la validité de tout modèle repose fortement sur une base-donnée précise permettant d'évaluer les paramètres utilisés. Le modèle mathématique définit et esquisse la base-donnée qui est nécessaire ; mais, d'une part, ces données sont rarement disponibles a priori, même lorsqu'il s'agit de modèles relativement simples (ce qui implique un développement des systèmes de compilation et de traitement des données); d'autre part, l'étendue de la base-données requise est telle qu'elle doit être disponible sous une forme qui permette le traitement par ordinateur; enfin, le système de compilation doit permettre une mise à jour périodique des données.

Certains chercheurs ont utilisé une matrice de Markov pour analyser les changements dynamiques dans la distribution de la population scolaire au sein de l'université (1) et se sont efforcés d'évaluer et d'étudier concrètement la stabilité des matrices de transition. Le modèle que nous présentons ici va au-delà de ces travaux à plusieurs titres :
1) la dynamique de la population est utilisée comme base pour déterminer la demande qui

---

(1) Voir notes bibliographiques 1 à 5.

s'exerce sur les moyens de production de l'université, par domaine et niveau d'enseignement; 2) le modèle esquisse les politiques d'allocation des ressources qu'emploie l'administration pour répondre à cette demande, en même temps qu'il permet sans difficulté d'expérimenter des variantes de ces politiques; 3) il est fondé sur des variables complémentaires de "flux réels" et de coûts unitaires, plutôt que sur des flux exprimés en dollars; ce qui permet de recherches les conséquences des tendances inflationnistes soit au niveau de l'établissement, soit au niveau de l'économie nationale; 4) le modèle jette les bases d'un système complet de compilation et de traitement des données acceptables pour un ordinateur, système qui est nécessaire pour mettre périodiquement à jour le modèle, l'évaluer et en faire un instrument réaliste de formulation des politiques.

Le modèle que nous présentons est d'un caractère assez général pour qu'on puisse l'utiliser soit dans le cadre d'une université particulière ou d'un ensemble d'établissements fonctionnant parallèlement. En le généralisant davantage - par exemple en élargissant les "catégories" de sorte qu'elles comprennent tous les niveaux du processus d'enseignement - le même type de formulation mathématique peut servir à l'ensemble du système d'enseignement d'un pays.

II. La Structure du modèle

II-1. Concepts de base des systèmes

Les méthodes quantitatives pour l'analyse de tout processus, y compris les processus socio-économiques qui font l'objet de cette étude, sont fondées sur des séries d'équations montrant l'interdépendance des séries de variables complémentaires qui caractérisent le processus ou les processus que l'on examine. Si toutes les équations sont sous forme algébrique (linéaire ou non linéaire) le modèle est un modèle statique, car un modèle dynamique contiendrait au moins une équation différentielle (de différence) d'un degré ou de l'autre. Si toutes les équations différentielles (de différence) dans le modèle sont présentées sous forme d'équations du premier degré, le modèle est connu sous le nom de modèle "état-espace". Les modèles dynamiques du premier degré sont les modèles qui peuvent être traités le plus aisément sous forme mathématique et par la programmation électronique.

Le modèle d'un système est rigoureusement mis au point à partir des caractéristiques structurelles du système, qui sont présentées sous forme de : 1) modèles mathématiques des éléments eux-mêmes, et 2) un modèle mathématique du schéma de leurs relations mutuelles. L'axiome fondamental de la théorie du système est que les modèles mathématiques des composants que l'on a isolés au sein de la structure sont indépendants des modes de liaison réciproque des éléments. Ceci implique que les divers composants peuvent être intellectuellement isolés du système global et étudiés par eux-mêmes; et, en conséquence, que les modèles qui leur correspondent serviront "d'éléments de construction" pour l'établissement du modèle de tout système qui comprendrait ces éléments. L'analyste peut aller aussi loin qu'il le désire dans le morcellement du système en "éléments de construction" suffisamment simples pour être l'objet d'un modèle. C'est en fait cette possibilité qui fait de la théorie du système un outil scientifique universel.

II-2. Forme conceptuelle du modèle

Afin qu'il puisse servir à la fois pour la formulation de politiques et pour l'expérimentation de diverses formules d'allocation des ressources limitées en réponse à des demandes qui se modifient, le modèle est conçu comme une fonction explicite d'une structure de système qui soit compréhensible aux administrateurs des établissements d'enseignement (voir figure 1); elle comprend un secteur Demande et divers secteurs Production.

Le secteur "Demande" correspond à la demande qu'exercent sur le système les étudiants suivant divers programmes d'enseignement. Si les programmes d'enseignement sont si étroitement définis que chaque étudiant doit suivre un ensemble de cours spécifiques, prédire la demande que ces groupes de population scolaire vont exercer sur les secteurs Production revient à prédire l'effectif d'étudiants dans chaque groupe. En l'absence de règles aussi strictes, l'évolution est commandée par le comportement de sous-groupes relativement importants d'étudiants au moment où ils choisissent les options facultatives. De même, on prendra pour hypothèse que les différents programmes d'études supérieures créent une demande en travaux de recherche liés à la préparation de thèses. Cette demande est parfois dénommée "enseignement de la recherche" et le modèle la considère comme élément constitutif de la demande.

Les secteurs Production du modèle décrivent l'allocation des ressources : heures de travail du corps enseignant et du personnel général et moyens auxiliaires de soutien que l'on peut appeler "milieu environnant". Il s'agit des programmes culturels et autres programmes non académiques, aussi bien que des salles de classe et des laboratoires.

Ces secteurs de base du système de l'université sont intégrés dans le modèle en tant que composants sans contraintes; c'est-à-dire que le modèle du "secteur Demande" est mis au point comme si le "secteur Production" n'imposait aucune contrainte à la demande et vice versa. Lorsque les deux secteurs fonctionnent comme une seule unité intégrée, des contraintes s'exercent en fait sur les taux de flux et les valeurs unitaires, qui, lorsqu'on les exprime mathématiquement, accouplent les deux composants du modèle et forment ainsi un modèle "état-espace" de l'ensemble du système. Ce modèle établit un réseau de relations d'interdépendance entre une série d'inputs, d'outputs et d'états internes, comme fonction d'une série de variables de contrôle.

III. Application du modèle

III-3. Contrôle

D'après Richard Bellman (1), la théorie du contrôle "comprend toute tentative rationnelle de l'homme pour surpasser les perversions du domaine naturel ou technologique qui l'entoure. L'objectif général de la théorie du contrôle est de faire en sorte qu'un système - quel qu'il soit - fonctionne de façon plus efficace; de le rendre plus sûr, plus pratique, ou plus économique".

Dans le cadre des séries de variables d'input, d'output, de contrôle et d'état représentées schématiquement à la Figure 2 pour un établissement d'enseignement, le problème du contrôle dans son contexte le plus général est le suivant : il s'agit dans le cas d'un

---

(1) Voir note bibliographique 6.

objectif bien défini, de déterminer au sein de l'ensemble des paramètres de politique et des contrôles acceptables, quelle succession dans le temps de paramètres de politique et/ou de contrôle est requise pour atteindre cet objectif de façon optimale. Si les contrôles requis sont exprimés en tant que fonction explicite de l'état du système, on s'y réfèrera comme la loi du contrôle ou la stratégie du contrôle.

Le fait que les paramètres et les contrôles de politique sont connus en tant que fonction explicite de l'état du système a une signification qu'il faut souligner. Cela implique que la série optimale des politiques et des contrôles de production peut être réévaluée périodiquement par le seul examen de l'état du système, au moment de l'évaluation, c'est-à-dire que la politique de contrôle optimum est fonction de l'état actuel du système. Il ne s'agit d'une proposition fixe que lorsque le système ne se modifie pas.

Lorsqu'elle est appliquée au modèle de l'enseignement supérieur, la théorie du contrôle optimum permet : 1) étant donné le contrôle et les vecteurs d'input, de déterminer au sein d'une série donnée de paramètres de politique acceptables, la série ou les séries de politiques de production (allocations de ressources d'input limitées) qui réduiront le coût de l'enseignement à son minimum, ou bien 2) étant donné une série particulière de politiques de production, de déterminer, au sein d'une série acceptable, la succession dans le temps d'inputs et de contrôles qui produiront un changement donné dans le vecteur de l'output à un coût total minimum pendant une période T d'années. Il faut remarquer que pour l'une ou l'autre de ces questions, on est libre de limiter les paramètres et les contrôles à des valeurs données, dictées par le jugement que l'on a de la qualité du produit final et du nombre des variables de contrôles possibles ou disponibles.

Le modèle et la nature du problème du contrôle auquel nous faisons face dans le contexte de l'enseignement supérieur sont identiques aux problèmes de contrôle dans les industries électroniques et spatiales. La théorie du contrôle s'est développée rapidement au cours des dernières années, particulièrement depuis l'apparition du calculateur électronique; des systèmes de contrôle (mis en oeuvre par des ordinateurs) sont maintenant largement utilisés pour régler de nombreux processus industriels et technologiques. Il en résulte que tout un ensemble de politiques et de techniques de contrôle de système ont été mises au point et sont maintenant applicables aux systèmes socio-économiques. Cependant, le choix d'une politique de contrôle pour un système socio-économique tel qu'une université, est source de sérieux problèmes. Le problème de la formulation des objectifs à atteindre a été examiné; on a pris en compte aussi bien les demandes sociales de la population que les besoins économiques et culturels des collectivités locale, nationale ou mondiale. En outre, les décideurs doivent avoir une connaissance très claire du fonctionnement présent et futur du système. Une fois les objectifs établis, il est nécessaire de savoir comment les inputs et paramètres du système doivent être modifiés pour les atteindre. Parmi tous les inputs contrôlables du modèle, ceux qui provoqueront les changements souhaités doivent être isolés.

Dans le modèle présenté ici, des exemples d'inputs contrôlables, tels que le nombre des postes d'assistant ou des bourses universitaires ou d'études offerts aux étudiants du niveau supérieur ont été utilisés. On a suggéré également que les "rabais" dans les frais d'enseignement ou les taux différentiels en faveur de divers secteurs d'étude contrôlent le rythme des passages des étudiants. Sans aucun doute, il y a d'autres facteurs qui pourraient servir de variables de contrôle et dont les relations avec la distribution des étudiants pourraient être étudiés, en appliquant aux données existantes diverses techniques, les analyses de régression par exemple.

Les nombreux facteurs exogènes qui affectent l'état du système compliquent encore le problème du contrôle; la plupart d'entre eux ne sont pas mesurables, et, en fait, il arrive souvent qu'ils passent inaperçus. Ceci implique que les paramètres du modèle continueront à changer de façon imprévisible. Le seul moyen de compenser ce changement est de mettre

à jour périodiquement les paramètres à partir des données d'expérience. C'est dire que le contrôle du système doit également être souple. Les politiques de contrôle administratif doivent être continuellement mises à jour afin de demeurer compatibles avec les paramètres de comportement dominant dans le modèle.

Pour ce type de contrôle d'un système socio-économique de grande dimension, l'utilisation d'un ordinateur à grande vitesse est essentielle. Outre qu'il traitera de grandes quantités de données dans un temps minimum, l'emploi de l'ordinateur permet la simulation de changements provoqués dans le cadre de conditions nouvellement observées. L'examen de la réponse sur la base d'une simulation par ordinateur peut permettre d'éviter des décisions qui affecteraient le système de façon qui ne serait ni économiquement, ni socialement, ni politiquement souhaitable.

En évaluant la réponse du vecteur-état aux décisions de contrôle, le concept d'une distance métrique de l'état-espace du modèle peut être utilisé. Dans le cadre de la politique de contrôle ainsi décrite, de nouvelles décisions dépendront, à tout moment, en partie de la distance séparant le vecteur-état actuel de "l'objectif" qui est actuellement défini.

Il semble inconcevable qu'une politique de contrôle formulée de façon rigide puisse ou doive être appliquée à un système social aussi complexe qu'une université moderne. Cependant, une bonne compréhension de la théorie du contrôle peut permettre l'utilisation optimale de techniques mises au point dans les sciences mathématiques, l'engineering et les calculs de probabilité; elles peuvent contribuer à mettre en lumière l'avantage incomparable des systèmes pour la solution de problèmes sociaux et économiques.

IV. L'enseignement dans l'économie nationale

IV-1. Forme conceptuelle du modèle d'un système d'enseignement national

On peut concevoir la position des divers établissements d'enseignement dans l'économie nationale selon le schéma de la figure 3. Un courant d'étudiants, issus de la population qui compose les différentes catégories de main-d'oeuvre, aborde au niveau primaire les stades successifs du système scolaire. En retour, les divers niveaux du système d'enseignement fournissent une main-d'oeuvre instruite aux diverses catégories professionnelles. L'ensemble forme un circuit fermé ou "feedback". Chaque niveau du système d'enseignement apparaît donc comme un stade de production ou de traitement qui, prenant les "ressources" que sont le corps enseignant et d'autres inputs, transforme l'input élèves en un produit d'un niveau de développement plus élevé. Bien entendu, le corps enseignant et le personnel auxiliaire nécessaires à ce processus proviennent également des catégories de main-d'oeuvre, et par là même constituent un deuxième circuit fermé de base (ou "feedback") du système.

Les catégories de main-d'oeuvre sont également des sources de personnel pour les secteurs Industrie et Administration (c'est-à-dire le reste de l'économie) dont la tâche est de produire les biens et les services consommés par les catégories de population. Bien entendu, on peut estimer que le courant des biens de consommation fournis en retour au secteur main-d'oeuvre contient de nombreux composants, et on peut considérer à juste titre que les "importations" et les "exportations" à partir des divers courants de flux tiennent la place des échanges entre systèmes économiques voisins.

On admet, en général, que chaque flux y est mesuré en unités réelles telles que le nombre d'unités, de tonnes, etc. par intervalles de temps, ou d'après la valeur en dollars de ces unités telle qu'on la mesure par la structure des prix d'une base arbitrairement choisie. D'autre part, à chaque courant est associée une variable complémentaire x_i qui représente la valeur économique, ou l'indice des prix, de chaque unité de flux dans les courants qui ont été identifiés. La variation dans le temps de ces variables complémentaires, pour tous les courants du système, représente très exactement le processus socio-économique, et bien entendu le produit $\$_i = x_i y_i$ représente le taux du flux de dollars dans le $i^{ème}$ courant.

Admettant que le modèle qui fait l'objet de ce rapport constitue la composante enseignement de l'économie nationale, chaque établissement du système d'enseignement produira des estimations qui lui sont propres des paramètres du modèle. A partir de ces estimations, il est possible de déduire une distribution empirique pour chacun de ces paramètres. Les valeurs moyennes peuvent alors être utilisées dans le modèle-état qui représente l'agrégat de tous les établissements d'enseignement. En outre, la distribution des valeurs offre des renseignements utiles concernant des facteurs tels que la variabilité du coût de la formation d'un individu pour une profession donnée.

En considérant le système d'enseignement comme un élément de l'économie nationale, on prendra pour hypothèse que l'output $\underline{d}(t)$ d'élèves fourni par chaque niveau d'enseignement, dans chaque domaine d'étude, alimentera un secteur main-d'oeuvre de la population, dont les diverses catégories peuvent être représentées par un vecteur $\underline{m}(t)$. Les catégories comprennent tous les types d'emploi dans l'économie, depuis la main-d'oeuvre "non qualifiée" jusqu'aux "cadres supérieurs". Ces secteurs de population consomment des biens et produisent des unités de "travail" que l'on peut représenter par un vecteur $\underline{l}(t)$. Ils produisent également de nouvelles unités de population qui, à leur tour, le moment venu, pénétreront dans le système scolaire.

Il est évident qu'une unité dite "valeur de l'enseignement", déterminée par les coûts de production du secteur enseignement, peut être attribuée à chaque catégorie $m_i(t)$ de $\underline{m}(t)$. Cette valeur de l'enseignement, couplée au coût de la vie, détermine un vecteur $\underline{\hat{l}}(t)$ des valeurs unitaires du travail produit par chaque catégorie.

Une partie du travail fourni par ces catégories se combine à d'autres inputs du secteur industriel de l'économie pour former le produit national brut Y(t), dont une partie est dirigée vers le secteur gouvernemental ou les divers secteurs d'infrastructure, tandis qu'une autre partie retourne au système scolaire en tant qu'input. La surabondance ou la pénurie de travail peuvent être représentées par un vecteur $\underline{\tilde{l}}(t)$ des flux positifs ou négatifs de chaque catégorie de main-d'oeuvre.

Les valeurs ou <u>coûts $\hat{l}(t)$</u> des unités de travail produites sont des nombres négatifs. Si les valeurs des unités positives $\underline{\hat{l}}(t)$ représentent la moyenne <u>payée</u> pour chaque catégorie de main-d'oeuvre, le vecteur

$$w(t) = \underline{\hat{l}}(t) + \underline{\hat{l}}'(t)$$

représentent alors la différence positive ou négative entre le coût ou la valeur attribuée au travail produit, et le prix qui a été effectivement payé pour ce travail. On dira que les variables $w_i(t)$ représentent la valeur économique ajoutée à la main-d'oeuvre par le processus d'enseignement. Une valeur négative signifie que le coût de l'enseignement dépasse la valeur qu'il a ajoutée à l'économie.

V. Mise en oeuvre

V-1. La base-données et les programmes de traitement des données

La base théorique pour un modèle d'établissements d'enseignement supérieur a été établie et le modèle peut être utilisé pour déterminer un ensemble de paramètres de politique et de contrôle d'inputs qui permettront de maximiser tout changement d'état, maximisation que l'on mesurera par toute une gamme de fonctions objets. Cependant, tous les modèles, sauf ceux qui sont fortement agrégés, sont trop complexes pour fournir des solutions cohérentes en elles-mêmes.

Il est plus pratique de recourir à la simulation : la solution du modèle est programmée sur l'ordinateur de telle façon que l'utilisateur puisse expérimenter rapidement et aisément les conséquences de diverses politiques et leurs paramètres, et de divers contrôles d'inputs. Les relations mutuelles et les combinaisons des diverses variantes de politiques et d'inputs peuvent être si nombreuses qu'il ne sera pas possible de toutes les examiner; toutefois, il existe une méthode qui permet de tester quelques-uns de ces choix. Le jugement de l'utilisateur peut être intégré pour déterminer le meilleur choix; mais il se peut qu'il ne soit pas possible de déterminer la solution optimale ou même d'en prendre conscience, si en fait on l'a trouvée.

Les étapes à couvrir pour que le modèle soit un instrument de simulation comprennent : (a) l'identification des composants spécifiques des divers vecteurs de flux dans le modèle et les unités employées pour les mesurer, (b) la mise au point d'une base-données appropriée, à partir de laquelle on constituera les paramètres et qui servira à mesurer les résultats de la simulation, et (c) des essais du modèle en utilisant des données du passé.

Le cadre théorique du modèle permet d'y incorporer tout nombre désiré d'états internes et de secteurs de production; d'autre part, les vecteurs-input de ressources peuvent identifier tout nombre arbitraire de catégories de personnel enseignant et de moyens auxiliaires. En outre, puisque le modèle est construit à partir de modèles sans contrainte des deux secteurs de base - les secteurs demande et production - on pourra l'utiliser pour simuler les caractéristiques input-/output de l'établissement dans son ensemble ou pour simuler les caractéristiques input-/output de chaque secteur.

L'ampleur de la base-données requise pour évaluer les paramètres du modèle dépend, bien entendu, du nombre de composants identifiés dans les vecteurs d'input, d'output et d'état interne. Il n'est pas nécessaire que tous les paramètres soient évalués avant que les sous-parties du modèle deviennent d'utiles instruments pour la formulation des politiques. En effet, un modèle vérifié du secteur demande peut être réalisé pour déterminer les demandes de moyens d'enseignement que le flux des nouveaux étudiants exercera sur les moyens de production, indépendamment d'un modèle vérifié indiquant comment le secteur production peut répondre ou répondra à ces demandes. De la même façon, le modèle du secteur production peut être mis sous forme de paramètres, vérifié et réalisé pour constituer un instrument de décision limité, tout à fait indépendamment du secteur demande.

Les modèles vérifiés des deux secteurs donnent naissance à un modèle entièrement vérifié de l'établissement. En conséquence, la mise en paramètres et la vérification s'exécutent au niveau sectoriel. Chaque secteur fait maintenant l'objet d'une présentation séparée :

(a) Secteur demande

Toutes les matrices de paramètres dans le secteur demande représentent des caractéristiques de comportement qui se répartissent dans l'une ou l'autre des trois catégories

suivantes : transferts des étudiants entre branches et entre niveaux, influence des bourses, des postes d'assistants, etc. sur ces transferts, ou demande que les divers groupes d'étudiants exercent sur le secteur production. Tous les paramètres, sauf ceux de la deuxième catégorie, peuvent être établis, et l'ont été en fait, à partir de deux dossiers d'inscription : le fichier central des étudiants et le fichier des cartes de cours.

A l'occasion des inscriptions, un fichier central des étudiants est établi pour chaque nouvelle période d'études; il contient des renseignements sur chaque étudiant inscrit pour cette nouvelle période. A la fin de la période, le fichier passe aux archives de l'Université. Ces fichiers ont été établis sous une forme assimilable par l'ordinateur pour chaque période d'études depuis l'automne 1963.

Le fichier des cartes de cours répertorie chacun des cours fréquenté par chaque étudiant. Il identifie l'étudiant aussi bien que chaque cours qu'il a suivi, en précisant la branche d'études et le niveau, tant pour l'étudiant que pour le cours.

Pour ce qui est de l'Université de l'Etat du Michigan, les dossiers les plus complets et les plus utilisables par un ordinateur sont ces fichiers d'inscription des étudiants. Ils servent de base à deux programmes de traitement des données qui fonctionnent à l'heure actuelle. Le premier programme engendre une matrice de transfert P(t) entre deux périodes d'études à partir des dossiers correspondants fournis par l'utilisateur (par exemple période automne-hiver de la même année universitaire, ou bien période automne-automne d'années consécutives). L'utilisateur peut spécifier qu'il désire agréger les "sections" (départements) en "branches" (les fichiers de l'Université de l'Etat de Michigan indiquent la "section" principale fréquentée par chaque étudiant). On peut donc étudier par exemple les transferts d'une section à l'autre au sein d'une seule division ou faculté de l'université, ou entre facultés, ou à l'intérieur de toute division arbitraire telle que les seize "branches" spécifiées dans la Référence N° 9.

L'utilisateur peut en même temps indiquer qu'il désire une ventilation des étudiants par niveau (cette ventilation n'est limitée que par le codage dans le fichier de base). La plupart des recherches en cours utilisent six niveaux : les quatre années de "licence" (nouveau, sophomore, junior, senior), la maîtrise et le doctorat. Les fiches sont également codées de façon à classer les étudiants par catégories spéciales (étudiants ne préparant pas un diplôme, suivant un cours de perfectionnement, etc.); si on le désire, ces catégories peuvent être également utilisées.

Le programme de travail peut être utilisé à présent pour l'étude de tout transfert qui s'est effectué dans le passé. Une étude des transferts antérieurs est utile en soi pour indiquer à une "section" ou à une faculté spécifique d'où proviennent ses étudiants, où ils vont, en même temps qu'elle fournit les données quantitatives.

La Figure 4 donne, à titre d'exemple typique, la matrice de transfert automne 1963-hiver 1964; les "sections" sont agrégées en quatre branches : Sciences de l'ingénieur, Sciences physiques et naturelles, Administration des affaires et le reste de l'université, qui sont ventilées entre les six niveaux mentionnés ci-dessus. L'exemple présente également l'effectif des étudiants, par branche et niveau (les totaux sont enregistrés à la ligne "P COUNT"). La ligne intitulée "DROPPED" indique le nombre d'étudiants qui ont abandonné; cette ligne et la ligne intitulée "GRDUATD" (diplômés) constitueraient le vecteur $\underline{d}(t)$ du modèle. La ligne intitulée GRD ABS est le nombre d'étudiants préparant un diplôme inscrits durant la période d'études t-1 qui ne sont pas inscrits durant la période t. Les fiches disponibles à l'heure actuelle ne comportent pas d'indication sur la situation des étudiants à l'égard du diplôme; le moyen de pallier cette déficience n'a pas encore été déterminé, mais il est entendu que ce renseignement sera intégré à l'avenir dans le fichier central de base des étudiants. A ce jour, la seule façon de déterminer combien d'étudiants

enregistrés à la ligne DIP ABS sont en fait encore des étudiants préparant un diplôme, est d'intégrer ce registre et la liste des étudiants diplômés. La solution de ce problème à l'avenir ne présente pas de difficulté, mais un tel problème illustre le type de difficultés qui peuvent se présenter avant qu'une base-données appropriée soit établie.

Malheureusement, à l'heure actuelle on ne possède pas les renseignements suffisants pour estimer l'influence des bourses, des postes d'assistants, etc., sur les inscriptions par niveaux et par branches.

Ce programme de traitement des données est utilisé à l'heure actuelle pour déterminer les transferts depuis que les fichiers ont été établis (automne 1963), afin de savoir s'il y a régularité des transferts d'une période à l'autre et d'une année à l'autre. Si tel est le cas, une description du schéma peut être programmée et utilisée pour prévoir les transferts à l'avenir. En outre, si le schéma révèle des branches où il y a soit unilatéralité des transferts, soit absence de transfert, le problème global peut alors être divisé en systèmes partiels indépendants ou semi-indépendants.

L'effectif des nouveaux étudiants, $\underline{a}(t)\ n(t)$, n'est pas indiqué, bien qu'il soit connu à la suite du programme. Ces nouveaux étudiants sont classés sous les rubriques "réinscriptions" ou transferts d'autres établissements. Ce facteur supplémentaire n'a pas été inclus explicitement dans la mise au point théorique du modèle, mais il peut l'être sans difficulté. C'est là un exemple des perfectionnements qui peuvent être apportés au fur et à mesure qu'on modifie le modèle pour répondre à des problèmes concrets.

Un deuxième programme de traitement des données utilise les fichiers de l'université pour déterminer la charge en heures de classe, $C\ \underline{s}(t)$, que les étudiants imposent au secteur production, par branche et par niveau. Dans ce cas également, l'utilisateur peut spécifier tout agrégat des "sections" en branches et toute division des niveaux qu'il désire.

La Figure 5 montre une charge type d'heures d'enseignement. Là encore une étude serait nécessaire pour déterminer la variation de cette matrice dans le temps. Mais, dès à présent, on peut montrer, pour des périodes d'étude spécifiques, l'origine de la charge d'enseignement dans une "section", et étudier les besoins en professeurs d'une "section" en fonction de la population étudiante dans d'autres "sections". Une ligne donnée "branche-niveau" de la matrice montre la charge en heures de cours imposée par les étudiants dans la branche-niveau indiquée par une des colonnes. En conséquence, les sections qui assurent des cours communs peuvent déterminer les sections qui bénéficient en fait de leurs services.

(b) Secteur production

Il est nécessaire d'examiner maintenant un secteur important pour lequel il n'existe pas de base-données appropriée. Le modèle théorique identifie sans ambiguïté les renseignements nécessaires concernant le corps enseignant : coût du corps enseignant (salaires, personnel auxiliaire, etc.), utilisation du temps de travail, grade, fonctions (enseignement, recherche, administration, etc...). Dans ce secteur particulier, les besoins engendrés par l'exercice de simulation ont coïncidé avec les besoins de l'administration de l'université et une base-données a été établie (on trouvera des détails dans la Référence n° 9). Toutefois, la mise au point est compliquée par toute une série de problèmes. Des procédures de codification normalisée doivent être employées pour que les données puissent être intégrées; le rassemblement des données doit être synchronisé; enfin, il faut adopter des dispositions spéciales pour veiller à ce que les renseignements ne soient ni communiqués, ni utilisés abusivement et pour assurer la protection des droits des individus.

En attendant que cette base-données soit établie, la simulation sera fondée sur des renseignements limités et des études spéciales. Un grand nombre de données nécessaires sont maintenant disponibles, mais elles proviennent de sources très variées et ne se réfèrent pas toutes à la même époque.

Pour de nombreux secteurs, il n'existe encore aucune base-données appropriée et il n'y en aura vraisemblablement pas d'ici quelques années. Dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser des renseignements subjectifs ou bien de ne pas les inclure dans le modèle, en reconnaissant par là même qu'il ne comprend pas ces effets secondaires ou tertiaires. Actuellement, les travaux visant à la préparation d'une base-données concernant les moyens et équipements auxiliaires se limitent aux secteurs que l'on croit être d'un intérêt primordial : locaux, services généraux, laboratoires, équipement, moyens de calcul, etc. Un inventaire complet des moyens disponibles comportant une indication de leur emploi par trimestre doit être établi. Ce travail est déjà commencé, en coopération avec l'administration.

THE CONSTRUCTION OF TIMETABLES FOR ONTARIO SCHOOLS USING A COMPUTER

by John Lions

Summary

The use of a computer to assist schools in the construction of timetables is becoming increasingly attractive. There are difficulties in simulating present hand methods on a computer and new methods are needed. The method of Csima and Gotlieb has been elaborated to form the basis of the Ontario School Scheduling Program. This is a computer program which can be used to solve some real school timetable problems from data collected as a set of requirements. The program has been applied to eight different schools with encouraging results. A number of difficulties still remain with turnaround times, with final quality and with the definition of all aspects of the problem. The rapid, economical construction of timetables of uniformly good quality will eventually allow schools to reschedule more frequently and increase the efficiency of school administration.

Background

This paper reports on some aspects of a study which has been conducted since May, 1964, by the Ontario Institute for Studies in Education in conjunction with KCS Limited, of Toronto, and is still continuing. The object is to develop a computer program which can become a useful adjunct in the construction of timetables for a large percentage of the schools in Ontario. A point has now been reached where a workable program entitled "The Ontario School Scheduling Program" (OSSP) has been developed, and has been used on an experimental basis during the summer of 1966 to produce timetables for several schools. Two of these timetables are currently in use. The technical details of the program, which are based upon the method proposed by Csima and Gotlieb (1), have been described elsewhere (2) The program is the property of the Government of the Province of Ontario and may be made available to interest parties at a fee commensurate with the cost of reproducing the program and its associated documentation. The support of the Director of the Institute of Computer Science of the University of Toronto, Dr. C.C. Gotlieb, in providing access to computing facilities, is gratefully acknowledged. Major contributions to the success of the project have been made by several people, of whom Dr. B.A. Griffith of KCS Limited, and Dr. J. Flowers of the Ontario Institute for Studies in Education should be particularly mentioned.

---

(1) Csima, J., and Gotlieb, C.C. Tests on a Computer Method for Constructing School Timetables. Comm. Assoc. for Computing Mach., Vol. 7, p. 160 (1962)

(2) Lions, J. The Ontario School Scheduling Program (submitted to the Computer Journal).

Part I

1. Introduction

A modern high school is a large and complex organization which involves and affects the lives of many hundreds of people. One of the principal administrative documents of the school is a schedule of events which are to occur at regular intervals (usually of one week), and which is known as the school timetable. The quality of a timetable can have an important bearing on the efficiency of a school, and yet, only for a very few schools, can the construction of a suitable timetable be construed as a trivial process. Because most schools stipulate that many, and often complex, constraints be observed, the timetabling process can often be lengthy and exhausting when carried out by hand, and the final result may not always be all that is desired.

With the present tendency towards even larger schools and more varied curricula, the problems associated with the timetable construction are increasing rapidly for many schools. The real cost of constructing a timetable under the present circumstances is very hard to estimate, but a single school may devote several man-months of the time of its most senior administrators to the purpose. Certainly it seems to be sufficiently demanding and disruptive that very few schools presently prepare more than one timetable per year.

At the same time as the difficulties of timetable construction are increasing, the cost of digital computers has been decreasing. Both these are trends which may be expected to continue and so, while the use of computers in timetable construction may be only marginally attractive to schools in Canada at present, it will certainly become very attractive within a few years' time.

2. The Computer's Role

Although there is no doubt about the computer's ability to outperform the human in matters of numerical computation, there are still many areas of human intellectual activity at which the computer is less than adept, such as :

(i) the organization and storage of a vast number of facts and the rapid recall of these at random;

(ii) the consideration, sifting, collating and evaluation of many different facts to reach a decision on a single point;

(iii) the capability for inductive reasoning with the ability to recognize and evaluate different patterns very quickly;

(iv) the ability to accumulate and profit by experience.

Each of these abilities plays a role in hand methods of timetable construction. The timetable, when finished, will affect many aspects of the school organization; hence each of these aspects can influence the timetable. The principal chooses to assign events to periods as far as possible in a way which satisfies his own prejudices and philosophy of school organization. He attempts to avoid the juxtaposition of events in ways which, for divers reasons, he considers undesirable. He may not finalize many fairly important decisions until midway through the timetable construction. Moreover, he may decide to

vary or relax many of the constraints which were initially laid down, and to compromise in other respects. Because the principal uses intuition and experience as well as formal rules to guide him, and because he reserves the right to vary the problem along the way by compromising and altering some decisions previously taken, it is not surprising that attempts to simulate hand methods directly by computer have proved to be less successful.

It has been found in many instances that where computers have been introduced in fields of business and government, their efficient use has necessitated the development of completely new procedures to replace those previously in use, and this seems most certainly to be true of timetabling. Human intuition and experience must be replaced by exhaustive checking procedures, and important policy decisions over which the school wishes to retain control can no longer be scattered through the construction process but must be gathered together initially and expressed within the bounds of a fixed framework.

3. The Scope of this Paper

At this point it is necessary to point out that just as there are many different school organizations, there are also many different "timetable problems". These fall into two broad categories depending on whether it is the assembly of classes or the creation of the master schedule which is considered to be the major problem. The scope of this paper includes only the second problem, which is the main problem for many schools in Ontario. It is presupposed that the student body has already been segregated into groups or classes, and that these groups or classes can be treated as basic units in the timetable construction.

Part II

4. The Model of Csima and Gotlieb

During 1960 a series of experiments to simulate a hand method of timetable construction by computer were carried out in Toronto, but the results were inconclusive and were never published (1). Subsequently, J. Csima and C.C. Gotlieb of the University of Toronto proposed a method which has proved to be very reliable, though not infallible, in solving problems which fall within the framework of a very simple model which is as follows.

A school is supposed to consist of teachers and classes. An event in the timetable is either a teacher and a class meeting for one period, or a teacher having a spare period or a class having a spare period. The imposed conditions consist of the specification of the number of times for which each teacher and each class are to meet (these numbers are usually arranged as a rectangular array called the "requirements matrix") and of a ranking of all the possible assignments. (An assignment is the association of a particular event with a particular period).

The method consists of considering each possible assignment in order of its rank. The first assignment is always accepted, and all other assignments are accepted only if they are compatible with the other requirements which have already been accepted within the context of the given requirements matrix. The decision whether to accept or reject an assignment is made only after an elaborate checking procedure has been carried out.

The checking procedure or acceptibility test proposed by Csima and Gotlieb has proved to be extremely efficient in rejecting a very high percentage of the unacceptable assignments. In the few instances where an assignment has been wrongly accepted with the eventual result that the timetable could not be completed, the difficulty has been sidestepped satisfactorily by making small changes to the assignment rankings and working the revised problem.

Thus the institution of the acceptibility test eliminates very effectively a major difficulty that occurs with hand methods, namely the need to shuffle or discard assignments previously accepted when a necessary assignment cannot be made. This constitutes the principal advantage of the method of Csima and Gotlieb over other methods.

5. Enlarging the Scope of the Model

The simple school model just described is inadequate as it stands to describe very many schools. By allowing the ranking of the assignments to be varied after the consideration of each assignment and to be conditional upon which assignments have been already accepted or rejected, the model may be elaborated to include more complicated problems. This is the basis of the "Ontario School Scheduling Program". This model still suffers from some deficiencies and a generalization of the Csima-Gotlieb model has been proposed though not yet implemented (2).

---

(1) B.A. Griffith - Private Communication.

(2) Lions, J., A Generalization of a Method for the Construction of Class-Teacher Timetables (under preparation).

6. Requirements and Events

The basic concept around which the program is structured is that of the requirement. A single requirement is a request for a certain event one or more times during a single cycle of the timetable. (The cycle is usually five or six school days). An event is some collection of teachers, classes and rooms, meeting for a single period of a school day. Events are defined such that no teacher or class or room can belong to two different events simultaneously. This defintion of event includes, of course, the events defined for the Csima-Gotlieb model.

A simple, very common type of event is exemplified by "Smith, 9A, Room 201", or again if subject information is included with the definition, by "Whittaker, 9B, (History), Room 202". An example of a more complicated event could be "Brown, Finch, 10C, 10D, (P.E.), Boys Gym, Girls Gym." This example could arise when two classes are combined and redivided, in this case the boys going one way and the girls going the other. A further example of a complicated event could be :

> "Crain, (Art), Art Room, Jones, (Music), Auditorium, Glenn (Latin), Room 203, Spode, (Geography), Room 205, 11A, 11B, 11C".

In this case each student of each of 11A, 11B and 11C will be offered a choice of one out of four subjects. The three classes are to divide and form four new groups under the auspices of each of the four teachers, during the period of the event.

As well as requesting a certain event for one or more periods, a requirement may include information which will limit the possible assignments for the events. A request may be entered for the assignment to be made at predetermined periods (preassignments); or during a restricted part of the week; or two or three times in succession (double or triple periods).

Within this framework, a set of requirements can be devised to describe many of the conditions and restrictions which relate to the construction of a school's master schedule.

7. Data Preparation

Schools are asked to record their requirements on specially laid out forms, which they prepare for themselves using a duplicator. Each form contains lists of names of teachers, classes, subjects and rooms, a small grid with one square for each period of the week, and other details. To the left of each name must appear a three-character code which is used eventually in the keypunching of the data.

Schools describe their requirements by checking teachers, classes, subjects and rooms on a requirement form. Only one requirement may be entered on a single form, but several forms may be used for a single requirement. Restrictions relating to the parts of the week to which the requirement may be assigned may be entered in the period grid. Requests for the total number of periods (occurrences of the prescribed event), and also requests for double or triple periods (if desired) are entered also.

Using this system, many of the problems normally associated with the transcription or coding of names are eliminated, though the quantity of paper used is quite formidable. A detailed Data Preparation Manual has been prepared for distribution to the schools, to explain the system to them. Although for many schools the present data preparation system seems to work well and has been favourably received, this is not true of all schools, and, in fact, a number of serious problems still remain. The incidence of data errors has proved to be unexpectedly high, but it is anticipated that this will drop as schools

become more familiar with what is expected of them. In the meantime, more checking procedures are being implemented. Some schools have peculiar problems which seem to defy inclusion within a general framework.

8. Problem Areas Not Adequately Defined

The Ontario School Scheduling Program is written on the assumption that each requirement may be considered, and assigned, independently of the other requirements. While this is not a thoroughly bad assumption and it is not obvious how the alternative is to be handled in a general way, schools do expect quite reasonably that closely related events will be distributed evenly throughout the week (e.g. on different days of the week) and that certain sequences of events will be avoided. Examples of undesirable sequences can be provided by "P.E. immediately after Lunch" or "Library immediately after P.E.", or by consecutive events involving rooms which are widely separated in the school. Requirements to these effects may be termed "aesthetic requirements" (to distinguish them from the "formal requirements") and are characterized by being rather difficult to define. Even so, their relevance cannot be denied.

A further difficulty occurs with the so-called "conditional events'. Where a situation arises with respect to a teacher, such as "Either Jones or Smith may teach 9A French", it seems to be adequately handled by asking the school to make some definite choice. This is a case where some of the flexibility available in hand methods cannot be usefully employed in the computer method. However, with rooms, the situation is often more complicated and is not so easily dismissed : there may be a choice of rooms possible for a subject such as "Typing", and as long as one of the typing rooms is used, the basic requirement will be satisfied; in other situations there may be a choice of rooms which are not equal because one is preferred over the others; each class in modern languages may be entitled to use a language laboratory once per week out of a total of five meetings per week; on the other hand it may be acceptable for a science class to meet outside the science laboratory one time out of five.

The assignment of rooms to teachers and classes turns out to be a very complicated question. Any distribution of rooms for a single period will most probably contain compromises. Some teachers will be given priority over others, but is it fair for the same teachers to get the high priorities all the time ? (The answer to this question varies very much from school to school).

There is something of a paradox in connection with the timetable problem in that it seems that one must develop a method for its solution before one can really understand what the problem is. Thus recently it has been found necessary to give close attention to the problem of data collection. Basically a school wishes to transmit to the computer information which is a mixture of ready-made decisions and material which can be used as the basis for decisions by the computer. The school wishes to make all the important decisions itself and to leave all the less important decisions to the computer. Where an actual decision is not communicated, then information relevant to the decision must be communicated.

The system which has been implemented is designed to capture the date just after the decisions have been made for questions of the following nature : "Who is going to teach each class for each subject, and for how many periods ?" This implies that classes have already been assembled from the student body so that the students' achievements, abilities and aspirations are summarized by the list of courses to be offered to each class. Further, by assigning teachers to definite classes, the need to describe individual teacher capabilities, preferences and personalities is also eliminated. However, recently, requests have been received from schools to begin the data capture at an earlier point, and this is now being given consideration, along with the other problems already mentioned.

Part III

9. Outline of the Computer Program

After data has been received from a school, it is transferred to punched cards and read by the computer. Provided the data satisfies certain consistency tests, it is automatically sorted by the computer and the set of requirements for a whole week is broken down into several smaller sets of requirements, one for each day of the week. A timetable is then constructed separately for each day. This breakdown of the main problem into a number of smaller problems has been necessitated by the physical limitations of the available computer, aggravated by the desire to handle very large schools.

The breakdown of the problem also has an important advantage. This initial stage turns out to be relatively easy, and it is possible then to concentrate on spreading the events generated by each requirement as evenly as possible amongst the days of the week. For example, if one requirement generates five events, these will be distributed one per day, and this will usually be adequate to achieve a satisfactory distribution of the events of the requirement, no matter where in the actual day each event is assigned.

10. Solution of the Problem for a Single Day

The solution of a single day problem begins with the accumulation of a list of those events which do not come within the original scope of the Csima-Gotlieb model. These are the so-called "special events", which involve more than one teacher, or more than one class, or certain specialized rooms, or double or triple periods, or a mixture of all these. The remaining events which involve only one teacher and one class with no definite room, or a teacher alone, or a class alone, are referred to as "simple". Each special event is translated into an equivalent set of simple events. In the case of double or triple periods, there will be two or three sets of simple events produced, and if specialized rooms are included in the event, these will be noted as extra conditions. The set of all required simple events is then used to define a requirements matrix for the day.

The construction proceeds with the methodical assignment of events. Each special event is treated as a group of simple assignments. No assignment is finalized until the acceptability test of Csima and Gotlieb has been applied successfully. Assignments for special events involving specialized rooms may be rejected if the rooms have already been assigned, as well as by the acceptibility test. If no assignment can be made for a special event, then the event may be modified or the simple events "composing" the special event may be assigned individually.

The ranking of assignments achieved by the computer is not as sophisticated in every respect as would be achieved by a human well versed in the details of a school. As has already been noted, much of the information which would be relevant is not currently used. Initially the program calculates ranks with the object of ensuring that as many special events as possible are included in the timetable. After that, lunch periods for classes are assigned (there may be as many as four designated lunch periods and the problem of avoiding cafeteria overcrowding is considered). Finally, assignments are chosen on the basis of arbitrary defined rankings until the list of assignments is complete.

The final stage in the solution of a single day problem is to allocate rooms for the simple events which have not already been assigned to a specialized room during the assignment of the special events. At present this allocation is carried out in a rather straightforward manner based on a list of teacher preferences. For the future, it is planned to

implement a more elaborate scheme wherein teacher preferences by subject, and other factors such as movements about the school, are taken into consideration.

11. Other Aspects of the Program

The computer is capable of organizing and displaying the final timetable in several different forms, and it is a standard data processing problem to produce various ancillary tables and summaries related to the timetable when required.

It is not expected that the computer will always produce a perfect timetable. When imperfections exist, two procedures are possible :

either

(a) to modify the date, or program, or both, and re-run the job;

or

(b) to give the timetable to the school to be modified by hand.

Normally the first option will be tried first and several analyst methods now exist to "guide" the program into preparing a better timetable. Thus, in general, several somputer runs are made before the law of diminishing returns become applicable and the second procedure is invoked.

In order that the value of having the computer produce the printed listings of the timetable will not be lost, another program is planned which will incorporate hand-coded changes into the timetable. Moreover, the second printing of the timetable can be made directly into offset masters suitable for immediate reproduction.

12. Experimental School Data

During the summer of 1966 a series of experiments was carried out using data supplied by eight different schools. Table I gives a list of the eight schools, each identified by a three letter code, and in the order of their estimated relative difficulty. The size of each school is indicated by the number of classes and the number of teachers. For each school are given two measures of difficulty (after Barraclough (1)).

B1 represents the fraction of the total non-spare teacher periods which are devoted to special events rather than simple events. Schools which have many courses taught in parallel (scrambles or multiple class options) and a variety of specialized teaching areas tend to have a high value for the number B1. The other number B2 measures the average fraction of the total periods for which teachers are involved in events in the timetable which are not spare periods. This figure tends to be fixed by school policy rather than for any other reason and hence is not a very sensitive discriminant. However, due to exceptional conditions, the small school, HCT, had no teacher spare periods (giving a value of B2 of 1.00) and this caused its problem to be much more difficult than it might otherwise have been.

A typical time for a complete computer run for each school is also given in minutes for the IBM 7094-II computer; However a complete timetable is never constructed in a single run. Invariably the construction involves several short runs, as well as one or two longer runs, and the total computer time used will be three to five times the figures shown.

---

(1) Barraclough, Elizabeth D., The Application of a Digital Computer to the Construction of Timetables, The Computer Journal, Volume 1, page 136 (1965)

Table 1

Summary of schools tested
during the Summer, 1966

No.	School	Numbers of		Measures of Difficulty		Typical Times (minutes)
		Classes	Teachers	B1	B2	
1	HBD	37	49	0.44	0.71	19
2	NBK	35	49	0.41	0.74	18
3	WNA	21	31	0.72	0.80	8
4	SJA	34	50	0.63	0.75	17
5	HCT	8	9	0.46	1.00	2
6	VCP	23	41	0.54	0.37	9
7	SWL	36	61	0.62	0.74	33
8	PCT	50	75	0.61	0.72	55

The full school, VCP (some 93 teachers) was too large and so only the part of the timetable which involved teachers and classes with vocational courses was considered. Although the timetable appeared to have an unusually high percentage of spare periods, the problem was still challenging because a large number of double and triple periods had to be scheduled into some heavily used specialized teaching areas.

The rather high value of the number B1 for the school, WNA, (which is a senior public school, not a high school) occurred because the school placed a large number of restrictions on the periods to which events could be assigned. In this case the principal had a very definite preconception of how the timetable should appear.

The school, PCT, was about the largest school that could be tackled with the available computer and program. However, not only was it a large school but its internal organization was exceedingly intricate and therefore its timetable problem was quite formidable. A very large number of elaborate special events was to be included in the timetable and the details of recording the basic data accurately within the standard framework proved to be so troublesome that the problem was left in abeyance.

HBD, NBK, SJA and SWL all offer mainly academic courses with some commercial courses as well. SJA works on a six-day cycle whereas all the other schools work on a five-day cycle. SWL had a very large number of complicated special events included in the timetable. (This school also had a shortage of class rooms, though this constraint was not allowed for in the program).

13. Results

The experiments with the school data were carried out as much to aid in the development of the program as for the construction of actual timetables. The timetables now in use by SJA and HCT are modifications of computer-constructed timetables. A complete timetable

was obtained for HBD, and a timetable with only one missing assignment was obtained for SWL. Each of these timetables was constructed at the result of several computer runs. However, in the case of NBK, a time-table lacking only five assignments to a heavily used room was created in a single run, and the experiment was not carried further. Experiments with WNA and VCP were not carried as far as possible as advice needed from the schools could not be obtained at the time, and PCT was discontinued as has already been noted.

The quality of the results obtained is of great interest. Good distributions of events from each requirement amongst the days of the week were obtained. On the other hand some undesirable sequences were generated within the days. In any case it is possible for the school to make adjustments and improvements to the timetable by hand. Both the principals from SJA and HCT are pleased with their timetables and most of the other schools are interested in further experimentation. Since the most important practical measure of quality is the principal's subjective judgment, this is encouraging. Even so there seems to be no basis for a belief that computer-produced timetables could be better by a significant amount than the best hand-constructed timetables. Somewhat perversely there seems to be a correlation between the quality of the computer-produced timetable and the problem difficulty which can be expressed as "the easier the problem, the lower the satisfaction". The reason seems to be that schools that have little trouble in fitting together the desired set of events to form a timetable, tend to place much more emphasis on the so-called "aesthetic requirements" (neatness, orderliness, uniformity, etc.) and such requirements cannot be easily handled within the present framework of the Ontario School Scheduling Program.

14. Conclusions

The conclusions drawn from the experiments may be summarized simply as :

(a) it is already technically feasible to produce timetables which can be used effectively by some schools;

(b) a number of modifications to the program are needed to improve the data checking and final timetable quality, to allow a wider problem definition and to reduce the need for analyst intervention.

15. Costs

It was not practicable to keep an accurate division between the cost of developing the program and the cost of producing actual timetables during the summer of 1966, but a very rough calculation puts the cost at about $3 per student of which about half would be for computer rental. When further experiments are carried out next summer, it should be possible to make a more accurate estimate. With more efficient analyst procedures and decreasing computer costs, it does not seem unreasonable to project a figure of about $1 per student for the near future.

16. Use of the Program Outside Canada

The Ontario School Scheduling Program has been written for general use rather than for any particular type of school. Thus its use would be possible by school systems outside

Canada where the timetable problems resemble those under discussion. In fact where schools tend to be smaller and less complex than present Canadian high schools, the program may be found to be more effective than has been suggested above. Where there is only one lunch period so that the assignment of lunch is trivial, and where rooms are assigned to classes rather than to teachers so that the room assignment is much less complex, the program could be simplified to good effect. The size and power of the computer needed increases very rapidly with increasing school size, and where school sizes do not exceed about thirty classes, a less powerful computer than the IBM 7094 might be used effectively.

17. Future Program Development

As it now exists, the Ontario School Scheduling Program is a computer-based aid, which can assist in the production of timetables. By no stretch of the imagination can it be described as a fully automatic, comprehensive timetabling system. Since sooner or later it is necessary to make compromises in constructing any timetable, there is reason to doubt that a fully automatic system will ever exist. The program can be likened to a knife which will cut but which is rather blunt. A process of sharpening is needed, and the continued development of the program over a period of years will be essential.

Since the program and computer alone do not constitute a complete system, they must be supplemented by a group of people usually known as analysts. Since a number of computer runs must be made to create a single timetable, the problem of achieving a rapid turnaround has become very important. The number of runs must be kept to a minimum and the interface between computer and analyst must be carefully studied. Recent developments in computer technology promise to make time-sharing and computer operation from remote terminals freely available. By allowing human monitoring of and intervention in the timetable construction, these developments may provide a way out of some of the present difficulties with the timetable quality and the total time necessary to complete a timetable.

Part IV

18. Advantages

From the results described above, it is not unreasonable to infer that, within a comparatively short time, it should be possible to offer a timetabling service to a large number, if not all, of the high schools in Ontario. Also this service should be available at a reasonable cost. The methods of data preparation will be convenient for the schools and there will be no technical difficulty in providing a rapid service. So the question arises : "What will be the demand for this service ?" The question is relevant because the service will entail an organization of a dozen or so people and priority of access to a large and powerful computer. If the cost of the service remains at about $1 per student then this will imply an annual budget with respect to Ontario Schools of close to half a million dollars.

It must first be noted that although there will be a definite cost attached to the production of a timetable by computer, it is anticipated there will be few direct savings. The most obvious initial effect will be to make available to the principal and other senior members of the school more time for other duties and to increase their efficiency therein. The other benefits which may be expected can be grouped under the following three headings :

(i) Rapid Preparation. Ontario schools normally prepare their timetables before the beginning of the academic year. It is extremely common to find that discrepancies between the projected and actual staff or student population at the beginning of the school year could justify a new timetable. With hand methods this is not often forthcoming because of the inherent delays, but computer preparation could obviate this problem, and also allow rapid replanning at other times of the year;

(ii) Economical Preparation. If the cost and effort of producing a new timetable is not great, then schools will tend to reschedule more frequently, two, three or even more times per year. An informal survey which was conducted very recently, indicated the following advantages :

(a) many courses could be conducted more intensively for a shorter period, and students could be offered a wider selection of options (i.e. more scope for individual courses);

(b) the emphasis given to subjects could be varied rather than remain static throughout the year;

(c) teaching loads could be distributed more evenly; home rooms for teachers could be allocated more equitably on a half-yearly basis than on a yearly basis;

(d) better use could be made of some specialized rooms (e.g. an auditorium used for drama classes).

(iii) Quality of Preparation. While the quality of computer-produced timetables may not exceed that of the best hand-produced timetables, it will be possible to maintain this quality over a wide range of schools and school sizes. Most principals profess themselves well-satisfied with their present hand-produced timetables so that it is problematical whether a computer-produced timetable will please them much better. (Most probably a touchy subject!).

19. Optimization of Schedules

The vogue for optimization has recently appeared with respect to school timetables. Inherent in this idea is the implication that it should be possible to procude several different timetables which "solve" a given problem and then to choose between them on the basis of some criterion. Apart from the fact that the cost of such a procedure is likely to be prohibitive, there exists no clear criterion which may be used for the selection. Very simple criteria for evaluating a given timetable such as those suggested by Barraclough (1) are clearly not adequate. Hence the present practice of doing the best possible at each stage in a step-by-step construction is likely to remain the only practical approach.

The purpose of a school is to educate students and to this end it consumes resources which may be enumerated as teachers and rooms. There is very little scope for increasing the efficiency of utilization of teachers by scheduling them to meet more classes ! It is generally agreed that the teacher establishment should be increased, not reduced. However, the question of the efficiency of room utilization is relevant, and there are two basic problems which can be discerned :

(a) where certain teaching areas must be heavily used, although the school as a whole has an adequate number of teaching areas; and

(b) where there is a general shortage of teaching areas and where an effective timetable must maintain the number of specialized areas in use at any time above a certain level so that the demand for general class rooms does not exceed the supply.

Problems of type (a) can be handled already within the framework of the present program, but no provision has been made as yet to handle problems of type (b). A failure to solve a problem of type (b) satisfactorily can often involve a school in the considerable expense of installing temporary class room accomodation.

20. The Program as a Planning Aid

On the assumption that the program can be successfully modified to observe constraints on the total number of rooms then, where a school has a critical shortage of rooms, it may be practical to construct more than one timetable while varying the assumed number of temporary class rooms. A better basis for determining the desirability of the extra accommodation could then be established. Alternatives for the acquisition of new staff might also be evaluated in this way.

A further use for the program as a planning aid could be to determine the future needs of a school in the design stage. However, it is not clear that this will be a worthwhile alternative to other methods. A school with an expanding population may have excess space one year, adequate space the next, and an over-crowding problem for the third year. At the end of the third year, an extension to the school is added and the cycle begins again. As estimates of future school populations only three months in advance can be quite inaccurate, efforts to plan in very close detail for, say, three years in advance, seem to be of questionable value.

---

(1) Barraclough, Elizabeth D., The Application of a Digital Computer to the Construction of Timetables. The Computer Journal, Vol. 8, p. 136 (1965)

21. Resource Needs

As has been already indicated, a school system wishing to implement a computer-based timetabling system must be prepared to allocate considerable resources to the project. The suggested level for Ontario is about $1 per student. Although the average cost of creating a time-table is expected to drop sharply with the cost of computing, this will be partly offset by the increased number of timetables created. The resources allocated to computer timetabling will constitute an addition to the total resource of senior school administrators and in countries where the school system is growing rapidly this may be its most important justification.

RESUME

L'ELABORATION D'EMPLOIS DU TEMPS POUR LES ECOLES DE L'ONTARIO AU MOYEN D'UN ORDINATEUR *

1ère Partie

1. Introduction

L'emploi du temps, dont la qualité peut avoir des répercussions profondes sur l'efficacité de l'école, est en général établi manuellement. Il est difficile de chiffrer exactement le coût de cette tâche, longue et ardue, qui demande souvent l'équivalent de plusieurs mois de travail des administrateurs les plus qualifiés de l'école.

2. Le rôle de l'ordinateur

Une fois établi, l'emploi du temps aura des répercussions sur de nombreux aspects de l'organisation scolaire; a contrario, chacun de ces aspects peut influer sur l'emploi du temps. C'est ainsi que le directeur décide de programmer certains événements à un moment qui satisfasse ses propres idées et conceptions de l'organisation de l'école. Il s'efforce d'éviter la juxtaposition de certains événements qu'à divers titres il considère indésirable. Il se peut qu'il diffère sa décision sur de nombreux problèmes relativement importants jusqu'à ce que l'emploi du temps soit en partie établi. En outre, il peut décider de modifier ou d'adoucir un grand nombre de règles qui avaient été établies et se résoudre à des compromis à l'égard d'autres principes. Puisque le Directeur est guidé par son intuition et son expérience tout autant que par des règles formelles, et puisqu'il se réserve le droit de changer les données d'un problème par des compromis ou des modifications qui altèrent certaines décisions déjà prises, il n'est pas surprenant que les essais de simulation directe des méthodes manuelles par un ordinateur aient abouti à de sérieux déboires.

Lorsqu'on a eu recours à des ordinateurs dans les affaires ou dans l'administration publique, on a constaté dans de nombreux cas que leur utilisation efficace exigeait des méthodes entièrement nouvelles. Ceci s'applique sans nul doute à l'établissement d'emplois du temps. L'intuition et l'expérience de l'homme doivent être remplacés par des procédures très complètes de vérification. Des décisions de politique importantes, dont l'école désire garder le contrôle, ne peuvent plus être prises au fur et à mesure que se déroule le processus d'élaboration de l'emploi du temps; elles doivent être rassemblées dès le début et être formulées à l'intérieur des limites d'un cadre pré-établi.

---

* Ce rapport rend compte d'une étude menée par l'Institut d'Etudes sur l'Enseignement (Ontario) pour mettre au point un "Programme d'établissement d'emplois du temps pour les écoles de l'Ontario" (O.S.S.P.). Ce programme a été expérimenté en mai 1966; deux des emplois du temps produits par ordinateur sont actuellement utilisés.

3. Objectifs de cette étude

Il est nécessaire, à ce stade, de souligner que, s'il y a de nombreux types d'organisations scolaires, il y a également de nombreux problèmes d'emploi du temps. Ces problèmes se répartissent en deux grandes catégories, suivant que l'on estime que le problème essentiel est la composition des classes ou l'établissement de l'emploi du temps général. Cette étude ne s'attache qu'à la solution du deuxième problème, le plus important pour beaucoup d'écoles de la province d'Ontario. On prendra pour hypothèse que la population scolaire se trouve déjà répartie en groupes et en classes, et que ces groupes ou classes peuvent être traités comme des unités de base pour l'élaboration de l'emploi du temps.

IIème Partie

4. Le modèle de Csima et Gotlieb (1)

Il est admis qu'une école est un ensemble de professeurs et de classes. On appelle événement, dans l'emploi du temps, soit la réunion d'un professeur et d'une classe pendant une période définie, soit la période de temps libre d'un professeur, soit la période de temps libre d'une classe. Deux conditions sont imposées : la spécification du nombre des rencontres de chaque professeur et de chaque classe (ces chiffres sont en général disposés à l'intérieur d'un rectangle quadrillé appelé "la matrice des besoins"); un classement de toutes les affectations possibles (une affectation est l'association d'un événement particulier et d'une période spécifique).

La méthode consiste à examiner chaque affectation possible dans l'ordre du classement. La première affectation est toujours acceptée, toutes les autres ne l'étant que si elles sont compatibles avec les autres besoins qui ont été acceptés auparavant dans le cadre de la matrice des besoins. La décision d'acceptation ou de rejet d'une affectation n'est prise qu'après vérification très approfondie.

La procédure de vérification, ou test d'acceptabilité, proposée par Csima et Gotlieb élimine donc très efficacement une difficulté essentielle des méthodes manuelles, à savoir, la nécessité de reclasser ou de supprimer des affectations que l'on avait d'abord acceptées, lorsqu'une affectation indispensable ne peut être faite. C'est l'avantage principal de la méthode de Csima et Gotlieb par rapport à d'autres.

5. Elargissement du champ du modèle

Le modèle simple qui vient d'être décrit ne peut, tel qu'il est, s'appliquer à de nombreuses écoles. S'il permet que le classement des affectations puisse être modifié après l'examen de chacune d'elles et dépendre des affectations déjà acceptées ou rejetées, le modèle peut être élargi pour inclure des problèmes plus compliqués. Telle est la base du "Programme d'établissement d'emplois du temps pour les écoles de l'Ontario". Le modèle n'est pas encore pleinement satisfaisant; une généralisation du modèle Csima-Gotlieb a été proposée, mais elle n'a pas encore été mise en oeuvre (2).

6. Besoins et événements

Le concept de base sur lequel repose la programmation est le besoin. Un besoin est la demande qu'un certain événement ait lieu une ou plusieurs fois durant un cycle de l'emploi du temps (en général le cycle consiste en cinq ou six journées scolaires). Un événement est la réunion de professeurs, de classes et de salles de classe pour une période spécifique, pendant un jour de classe. Les événements sont définis de telle façon qu'aucun professeur, aucune classe ou salle de classe ne puisse appartenir simultanément à deux événements différents. Cette définition inclut, bien entendu, l'événement tel qu'il a été défini pour le modèle Csima et Gotlieb.

Un événement simple, très fréquent, est le suivant : "Smith, 9A, Salle 201", ou si la discipline est incluse dans la définition : "Whittaker, 9B, (Histoire), Salle 202".

---

(1) Université de Toronto.

(2) Lions J. "Généralisation d'une méthode d'établissement des emplois du temps classes-professeurs" (en préparation).

Un exemple d'événement plus compliqué serait : "Brown, Finch, 10C, 10D, (E.P.), Lycée de garçons, Lycée de filles". Cette situation pourrait se produire lorsque deux classes sont combinées puis séparées à nouveau, les garçons allant d'un côté et les filles de l'autre. On pourrait citer également comme exemple d'événement compliqué : "Crain, (Art), Salle de dessin, Jones, (Musique), Auditorium, Glenn, (Latin), Salle 203, Spode, (Géographie), Salle 205, 11A, 11B, 11C". Dans ce cas chaque élève de chacun des groupes 11A, 11B et 11C, devra choisir entre quatre disciplines. Les trois classes vont se séparer, puis se réunir en quatre nouveaux groupes sous les auspices de chacun des quatre professeurs, pendant la période de l'événement.

Outre qu'il suppose qu'un certain événement ait lieu pendant une ou plusieurs périodes, un besoin peut inclure des informations qui limiteront les possibilités d'affectation des événements. Par exemple, il peut être précisé que l'affectation ne doit être faite qu'à des périodes prédéterminées (pré-affectations); ou bien pendant une certaine partie de la semaine; ou bien deux à trois fois de suite (périodes doubles ou triples).

Dans ce contexte, un ensemble de besoins peut être conçu qui décrira nombre des conditions et restrictions qui s'imposent pour établir l'emploi du temps général d'une école.

7. Préparation des données

Les écoles doivent enregistrer leurs besoins sur des formulaires spéciaux qu'elles préparent pour elles-mêmes en utilisant un procédé de reproduction. Chaque formulaire contient les listes des noms des professeurs, des classes, des matières et des salles de classe, ainsi qu'une petite grille comprenant un carré pour chaque période de la semaine, et quelques autres précisions. A gauche de chaque nom doit apparaître un code de trois caractères qui sera utilisé pour la perforation des cartes.

Les écoles exposent leurs besoins en pointant les professeurs, les classes, les matières et les salles de classe sur un formulaire approprié. Un même formulaire ne peut comprendre qu'un seul besoin, mais plusieurs formulaires peuvent être utilisés pour un même besoin. Les servitudes gouvernant l'affectation des besoins pendant telle ou telle période de la semaine peuvent être entrées dans la grille des périodes. Les demandes concernant le nombre total de périodes (occurences d'un événement précisé), ainsi que les demandes de périodes doubles ou triples, sont également entrées dans la grille, le cas échéant.

8. Domaines où les problèmes ne sont pas encore définis de façon satisfaisante

Le programme d'établissement d'emplois du temps pour les écoles de l'Ontario a été préparé en supposant que chaque besoin peut être examiné et affecté indépendamment des autres. Certes, cette hypothèse n'est pas foncièrement évoquée et l'on ne voit pas très bien comment on pourrait, à partir de l'inverse, utiliser une méthode ayant une valeur générale; mais les écoles sont en droit de s'attendre que des événements qui sont étroitement liés soient distribués de façon assez uniforme au cours de la semaine (c'est-à-dire qu'ils n'aient pas lieu le même jour), et que la succession de certains événements soit évitée. Des concentrations peu souhaitables seraient par exemple : "Education physique (E.P.) immédiatement après déjeuner", ou bien "Bibliothèque immédiatement après E.P.", ou bien des événements consécutifs nécessitant l'emploi de salles de classe très éloignées les unes des autres à l'intérieur de l'école. De telles exigences peuvent être appelées

"exigences esthétiques" (que l'on distinguera des "besoins formels); elles ont pour caractéristique d'être assez difficiles à définir. Mais ceci étant, on ne peut en nier le bien-fondé.

Une autre difficulté tient à ce que l'on appelle les "événements conditionnels". Dans le cas où deux professeurs, par exemple "Jones ou Smith peuvent l'un et l'autre enseigner le français en 9A", il semble satisfaisant de demander à l'école de procéder au choix définitif. C'est un cas où la flexibilité des méthodes manuelles se retrouve difficilement dans la méthode par ordinateur. Toutefois, en ce qui concerne les salles de classe, la situation est souvent plus compliquée et ne peut être résolue si aisément : c'est ainsi que l'on peut avoir à choisir entre plusieurs salles de classe pour une matière telle que la "Dactylographie", et pour autant que l'une des salles de classe destinées à la dactylographie est utilisée, le besoin fondamental est satisfait. Dans d'autres situations, il se peut que l'on doive choisir entre des salles de classe qui ne sont pas identiques parce que l'une est préférée aux autres; une classe de langues modernes peut n'être autorisée à utiliser un laboratoire d'écoute qu'une fois par semaine, alors qu'elle se réunit cinq fois dans la semaine; par contre, il peut être acceptable qu'une classe de sciences se réunisse en dehors du laboratoire une fois sur cinq.

Le problème de l'emploi du temps a ceci d'assez paradoxal que l'on doit mettre au point une méthode permettant de le résoudre, avant que l'on soit vraiment capable de comprendre en quoi il consiste. C'est ainsi qu'on a trouvé récemment qu'il fallait accorder une attention toute particulière au rassemblement des données. Au fond, une école souhaite pouvoir transmettre à l'ordinateur des renseignements qui représentent un mélange de décisions déjà prises et de matériaux utilisables par l'ordinateur comme base de décision. L'école désire prendre elle-même toutes les décisions importantes et laisser les moins importantes à l'ordinateur. Si la décision elle-même n'est pas communiquée à l'ordinateur, alors les renseignements nécessaires à cette décision doivent lui être transmis.

Le système qui a été réalisé a pour but d'intégrer les données dès que les décisions ont été prises concernant des questions de ce genre : "Qui va enseigner chaque matière à chaque classe et pendant combien de périodes ?". Ceci implique que les classes aient été déjà organisées au sein de la population scolaire de sorte que le niveau des connaissances des élèves, leurs possibilités et leurs aspirations puissent se trouver résumés dans la liste des cours offerts à chaque classe. En outre, en affectant des professeurs à ces classes définies, il n'est plus nécessaire de décrire les aptitudes, les préférences et la personnalité d'un professeur particulier. Toutefois, des écoles ont récemment demandé que l'intégration des données se fasse à un stade antérieur; cette question est maintenant à l'examen, en même temps que les autres problèmes mentionnés auparavant.

IIIème Partie

9. Schéma de la programmation par ordinateur

Les données reçues d'une école sont transférées sur cartes perforées et lues par l'ordinateur. A condition que les données répondent à certaines normes de cohérence, elles sont automatiquement triées par l'ordinateur et la série des besoins couvrant toute une semaine est divisée en plusieurs séries de besoins plus petites correspondant à chaque jour de la semaine. Un emploi du temps est alors préparé séparément pour chaque journée. Ce fractionnement du problème principal en un certain nombre de problèmes plus limités a été motivé par la capacité de l'ordinateur disponible et plus encore par le désir de traiter des écoles de grandes dimensions.

Ce fractionnement offre d'ailleurs un avantage important : le stade initial étant relativement simple, il est possible de s'attacher à répartir les événements nés de chaque besoin de façon aussi équilibrée que possible entre les jours de la semaine. Par exemple, si un besoin requiert cinq événements, on les distribuera au rythme d'un événement par jour. Cette solution permettra, en général, une distribution satisfaisante des événements correspondant à un besoin, quel que soit le moment de la journée retenu pour y placer l'événement.

10. Solution du problème pour une seule journée

La solution du problème pour une seule journée commence par la préparation d'une liste des événements qui n'entrent pas dans le champ initial du modèle Csima et Gotlieb. Il s'agit des "événements spéciaux", c'est-à-dire de ceux qui intéressent plus d'un professeur, ou plus d'une classe, ou certaines salles de classe spécialisées, ou des périodes doubles ou triples, ou un ensemble de tous ces facteurs. Les autres événements, c'est-à-dire ceux qui ne mettent en cause qu'un professeur et une classe qui n'est pas affectée à un local particulier, ou bien un seul professeur ou une seule classe sont dits "événements simples". Chaque événement spécial est traduit en une série équivalente d'événements simples. Dans le cas de périodes doubles ou triples, on produira deux ou trois séries d'événements simples; et si des locaux spécialisés sont un élément de l'événement, ils seront inclus comme conditions supplémentaires. L'ensemble des événements simples qui sont requis est alors utilisé pour construire une matrice des besoins pour la journée.

Vient ensuite l'affectation méthodique des événements. Chaque événement spécial est traité comme un groupe d'affectations simples. Aucune affectation n'est définitive tant que le test d'acceptabilité de Csima et Gotlieb ne donne pas de résultats satisfaisants. Des affectations pour des événements spéciaux concernant des salles de classe spécialisées peuvent être rejetées si les salles de classe ont déjà été attribuées, ou si le test d'acceptabilité l'indique. Si un événement spécial ne peut faire l'objet d'aucune affectation, ou bien il peut être modifié, ou bien les événements simples qui le composent peuvent recevoir une affectation individuelle.

Le classement des affectations réalisé par l'ordinateur n'est à aucun titre aussi raffiné qu'il le serait s'il était accompli par un individu possédant une connaissance approfondie de tous les rouages de l'école. Comme on l'a déjà indiqué, une grande partie des renseignements pertinents ne sont pas utilisés de façon courante. A l'origine, le programme calcule les classements de telle sorte qu'un maximum d'événements spéciaux soit inclus dans l'emploi du temps. Après quoi, les périodes de repas pour les classes sont affectées (il se peut que l'on doive envisager quatre périodes de repas puisqu'il faut tenir compte du problème d'encombrement à la cantine). Enfin, les affectations sont

choisies sur la base de classements déterminés arbitrairement, jusqu'à ce que la liste des affectations soit complète

Pour résoudre le problème d'une seule journée, le dernier stade consiste à affecter des salles de classe aux événements simples qui n'ont pas été attribués à une salle de classe spécialisée lors de l'affectation des événements spéciaux. A l'heure actuelle, cette affectation est réalisée de façon très directe, d'après une liste des préférences des professeurs. A l'avenir, on envisage de réaliser un schéma plus élaboré dans lequel les préférences du professeur par matière d'enseignement, et divers autres facteurs, tels que les mouvements à l'intérieur de l'école, seront également pris en compte.

11. Autres aspects de la programmation

L'ordinateur est à même d'organiser et de présenter l'emploi du temps définitif sous différentes formes; c'est d'ailleurs un problème courant du traitement des données que de produire, à la demande, divers tableaux auxiliaires et des résumés qui illustrent l'emploi du temps.

Il ne faut pas s'attendre que l'ordinateur produise toujours un emploi du temps parfait. Lorsqu'il y a des imperfections, on peut envisager deux procédures :

(a) modifier les données ou le programme, ou les deux à la fois, et procéder à un nouveau passage; ou bien

(b) remettre l'emploi du temps à l'école pour qu'elle le change manuellement.

Normalement, on adoptera d'abord la première formule, car il existe à présent plusieurs méthodes d'analyse qui "incitent" le programme à préparer un meilleur emploi du temps. Donc, en général, plusieurs passages sont effectués avant que la loi des rendements décroissants n'intervienne et que la deuxième procédure ne soit employée.

Afin de ne pas perdre l'avantage que constituent les listes imprimées fournies par l'ordinateur, un autre programme est mis au point pour incorporer les changements codés apportés manuellement à l'emploi du temps. En outre, la deuxième impression de l'emploi du temps peut être effectuée directement en offset, ce qui permet la reproduction immédiate.

12. Données concernant des écoles expérimentales

Au cours de l'été 1966, on a entrepris une série d'expériences qui utilisaient des données fournies par huit écoles différentes (Voir Tableau 1).

La catégorie B1 représente la fraction du temps de service des professeurs qui est consacrée à des événements spéciaux plutôt qu'à des événements simples. Les écoles qui offrent de nombreux cours parallèles (conflits ou options multiples de classes), et qui disposent de diverses zones d'enseignement spécialisé, occupent en général un rang élevé dans le classement B1. La catégorie B2 mesure la fraction moyenne des périodes totales pendant lesquelles les professeurs sont occupés par des événements de l'emploi du temps qui ne sont pas des périodes d'inactivité. Ce chiffre dépend de la politique de l'école plutôt que de toute autre raison, aussi n'est-il pas un discriminant très sensible. Cependant, en raison de circonstances exceptionnelles, les professeurs de la petite école HCT n'ont aucune période d'inactivité (B2 = 1,00); c'est pourquoi elle pose un problème beaucoup plus difficile qu'il ne l'aurait été autrement.

Le tableau 1 indique également, pour chaque école, la durée typique en minutes d'un passage complet sur ordinateur IBM 7094-II. Cependant, un emploi du temps complet ne peut jamais être mis au point par un seul passage. Sa construction nécessite toujours plusieurs courts passages, ainsi qu'un ou deux passages plus longs : le temps d'ordinateur total sera donc de trois à cinq fois supérieur aux temps indiqués dans ce tableau.

L'école VCP (quelque 93 professeurs) était trop grande; on n'a donc examiné que la partie de l'emploi du temps qui intéresse les professeurs et les classes d'enseignement professionnel. Bien que l'emploi du temps semble présenter un pourcentage anormalement élevé de périodes d'inactivité le problème était cependant ardu en raison du grand nombre de périodes doubles ou triples qui devaient être intégrées dans des zones très utilisées d'enseignement spécialisé.

La valeur assez élevée du chiffre B1 pour l'école WNA (une école publique d'enseignement secondaire du 2ème cycle et non un lycée) résulte du fait que l'école a imposé de nombreuses restrictions quant aux périodes d'affectation des événements. Dans ce cas, le directeur avait des idées très arrêtées sur la façon dont l'emploi du temps devait être établi.

L'école PCT est l'école de taille maximale qui pouvait être traitée dans le cadre du programme et par l'ordinateur disponible. Non seulement elle était de grande dimension, mais son organisation interne était particulièrement complexe. Le problème de son emploi du temps était donc extraordinairement difficile. Un très grand nombre d'événements spéciaux complexes devaient être inclus dans l'emploi du temps; les détails à prendre en compte pour l'enregistrement précis des données de base au sein du cadre normalisé se sont avérés si embarrassants que le problème n'a pas été résolu.

Les écoles HBD, NBK, SJA et SWL dispensent toutes principalement des cours d'enseignement général, mais aussi quelques cours commerciaux. L'école SJA fonctionne six jours par semaine, tandis que toutes les autres ont un cycle de cinq jours. L'école SWL a dû faire place dans son emploi du temps à un très grand nombre d'événements compliqués et spéciaux. (Cette école manquait également de salles de classe, mais cette servitude n'a pas été prise en compte dans le programme).

13. Résultats

Les emplois du temps qui sont maintenant utilisés par les écoles SJA et HCT sont des modifications des emplois du temps établis par ordinateur. Un emploi du temps complet a été obtenu pour l'école HBD, et un emploi du temps auquel ne fait défaut qu'une seule affectation a été réalisé pour l'école SWL. Chacun d'eux a été établi au moyen de plusieurs passages sur ordinateur. Toutefois, dans le cas de l'école NBK, en emploi du temps dans lequel cinq affectations à une salle de classe très utilisée n'ont pu trouver place a été établi au moyen d'un seul passage; l'expérience n'a pas été poursuivie plus avant. Des expériences concernant les écoles WNA et VCP n'ont pas été poussées aussi loin qu'elles auraient pu l'être, car les écoles n'ont pas fourni à temps les précisions voulues. Enfin, comme on l'a déjà indiqué, l'expérience PCT a été abandonnée.

Des résultats très intéressants ont été obtenus. Des distributions satisfaisantes des événements sur tous les jours de la semaine répondaient aux besoins. En revanche, les emplois du temps quotidiens ont comporté quelques successions malheureuses d'événements. Néanmoins, les écoles peuvent toujours procéder manuellement à des ajustements et à des améliorations. Les directeurs des écoles SJA et HCT sont satisfaits des emplois du temps qui leur ont été remis et la plupart des autres écoles désirent poursuivre l'expérience.

Puisque le jugement subjectif du directeur est l'appréciation qualitative la plus importante, ce résultat est encourageant. Ceci étant, il ne semble pas qu'il y ait de raison de croire que des emplois du temps produits par ordinateur puissent être sensiblement supérieurs aux meilleurs emplois du temps construits manuellement.

14. Conclusions

Les conclusions tirées de ces expériences peuvent se résumer comme suit :

(a) Dès à présent, il est techniquement possible d'établir des emplois du temps utilisables par quelques écoles;

(b) Il est nécessaire d'apporter un certain nombre de modifications au programme pour améliorer la vérification des données et la qualité du produit final, assurer une définition plus large du problème et réduire le nombre des cas où l'intervention de l'analyste est nécessaire.

15. Coûts

Il n'a pas été possible de séparer avec précision les coûts afférant respectivement à la mise au point du programme et à l'établissement de véritables emplois du temps pendant l'été 1966. D'après des calculs rapides, le coût par élève serait d'environ trois dollars, dont la moitié pour la location de l'ordinateur. A l'occasion des expériences qui seront entreprises l'été prochain, il devrait être possible d'évaluer les coûts de plus près. Les procédures d'analyse devenant plus efficaces et les coûts d'ordinateur déclinant, il ne semble pas déraisonnable d'envisager que, dans un proche avenir, le coût se situera approximativement à un dollar par élève.

IVème Partie

16. Avantages

Il faut indiquer tout d'abord que si des dépenses précises découlent de l'établissement de l'emploi du temps par ordinateur, quelques économies directes en résulteront. L'avantage initial le plus évident sera de permettre au directeur et au personnel dirigeant de l'école de se consacrer à d'autres tâches et d'accroître ainsi leur efficacité générale. Les autres bénéfices que l'on peut escompter peuvent être classés sous les trois rubriques suivantes :

(i) Préparation rapide. Les écoles de l'Ontario préparent leur emploi du temps avant le commencement de l'année scolaire. Il est extrêmement fréquent que les écarts constatés, au début de l'année, entre les effectifs réels et ceux qui avaient été prévus pour le corps enseignant et les élèves, justifient que l'on établisse un nouvel emploi du temps. Dans la plupart des cas, cette révision est difficilement réalisable en raison des délais qu'entraînent les méthodes manuelles; l'élaboration par ordinateur pourrait résoudre ce problème et permettrait également de refaire rapidement l'emploi du temps à tout autre moment de l'année;

(ii) Préparation économique. S'il apparaît qu'un nouvel emploi du temps n'est pas d'un coût trop élevé et que son établissement n'est pas trop ardu, les écoles tendront alors à en faire deux, trois ou même davantage au cours de l'année. Une enquête officieuse menée récemment a révélé les avantages suivants :

(a) De nombreux cours pourraient être dispensés plus intensément sur une période plus courte; on pourrait donc offrir un plus large éventail d'options aux élèves (c'est-à-dire qu'il y aurait une place plus large pour des cours individuels);

(b) L'accent placé sur certains sujets pourrait varier au cours de l'année plutôt que de rester uniforme pendant toute l'année scolaire;

(c) Les obligations de service pourraient être réparties plus uniformément; les salles de professeurs pourraient être allouées plus équitablement sur une base semestrielle plutôt qu'annuelle;

(d) On pourrait utiliser plus efficacement certaines salles spécialisées (par exemple : un auditorium servant aux classes d'art dramatique).

(iii) Qualité de la préparation. Même si la qualité des emplois du temps produits par ordinateur n'est pas supérieure à celle des meilleurs emplois du temps élaborés manuellement, il sera possible d'assurer cette qualité à des écoles très nombreuses et de dimensions différentes. Cependant, la plupart des directeurs se disent satisfaits des emplois du temps produits manuellement de sorte qu'il n'est pas certain qu'ils soient très séduits par un emploi du temps établi par ordinateur (c'est là sans nul doute un sujet délicat !).

17. Optimalisation des emplois du temps

Depuis quelque temps, la mode est à l'optimalisation des emplois du temps scolaires. Elle est née de l'idée implicite, qu'il devrait être possible de produire plusieurs emplois du temps différents qui résolvent un problème donné, et ensuite de choisir entre eux en

en fonction d'un critère déterminé. Outre que le coût d'une telle procédure sera vraisemblablement prohibitif, il n'y a pas de critère satisfaisant pour procéder à la sélection.

Une école a pour mission d'éduquer les élèves et elle utilise, pour ce faire, des ressources : professeurs et salles de classe. Il n'y a pas grand sens à augmenter le rendement de l'utilisation des professeurs en leur confiant la responsabilité d'un plus grand nombre de classes ! On estime généralement que le corps enseignant devrait être élargi et non réduit. Toutefois, la question du rendement de l'utilisation des salles de classe est légitime et, à ce titre, deux problèmes fondamentaux apparaissent :

(a) Cas où l'on est obligé de saturer certaines zones d'enseignement, bien que l'école dans son ensemble dispose d'un nombre suffisant de zones; et

(b) Cas où il y a une pénurie générale de zones d'enseignement, et où un emploi du temps efficace doit toujours maintenir le nombre des zones spécialisées en utilisation au-dessus d'un certain niveau, afin que la demande de salles de classe à vocation générale n'excède pas l'offre.

Les problèmes de la catégorie (a) peuvent être traités dès à présent dans le cadre de la programmation proposée, mais aucune disposition n'a encore été prise pour les problèmes du type (b). Faute de pouvoir résoudre de façon satisfaisante un problème de type (b), l'école devra souvent encourir des dépenses considérables pour l'installation de salles de classe temporaires.

ADMISSION TO SCHOOLS, COLLEGES AND FACULTIES WITH NUMERUS CLAUSUS BY CENTRALISED EDP SYSTEMS

by Mac Murray and Göran Svanfeldt *

I. General Section

I-1. Reasons for Numerus Clausus

An important objective of the present Swedish educational system is to give students proper freedom in making their own choices of education. Yet, despite the principle that every student should be able to choose freely from the forms of education for which he has the necessary qualifications and previous education, the fact is that entry to several different types of secondary and postsecondary education at present have a numerus clausus. The most important reasons are summarized below.

Available resources do not always permit a rate of expansion which fully satisfies the demand for education. This also applies to branches of education which require very extensive resources (1) and to branches, the further expansion of which (2) would have consequences for other forms of education which - on account of the resources they require or, for example, for labour market reasons - it would be less desirable to expand.

The capacity number of available places of many forms of education is not absolutely dependent on the availability of specially arranged and expansive facilities and categories of teachers who may be difficult to recruit. The capacity of these forms of education can usually be changed at short notice, sometimes within less than a year. The total number of available places must, however, usually be decided before the final number of applicants is known, so even in this case there may be a numerus clausus, and consequently some form of selection among the applicants.

Examples : Some teacher training colleges and many types of vocational training.

Some highly specialized forms of education attract more applicants than can reasonably be expected to find employment later on. In these cases capacity is based approximately on the expected needs of the labour market.

Examples : Agricultural colleges, forestry colleges.

Even in cases where the students choice entirely determines the capacity of different forms of education, some way of adaptation to the labour market requirements takes place, as students may be informed of the expected labour market situation before they make their choice of education.

---

(1) For example medical facilities.

(2) For example gymnasium.

* Mr. Göran Svanfeldt of the Swedish Central Bureau of Statistics and Mr. Mac Murray of the Swedish Ministry of Education are responsible for the final preparation of this report. Section 3 has been compiled on the basis of material from the Swedish Office of Organisation and Management. The entire report has been worked out in close cooperation with members of the Swedish Office of Organisation and Management, the National Board of Education and the Office of the Chancellor of Swedish Universities.

I-2. Increased importance of admission procedures

Problems related to the capacity of schools, colleges, etc. with a fixed number of places (numerus clausus), and to the selection of applicants for these institutions, have become increasingly important in recent years. Some of the main causes of these are given below.

The scarcity of real resources and the growing realization of education as an important factor for the development of the national economy have resulted in questions relating to the capacities of the educational system being increasingly often discussed together with other problems related to the growth of the GNP.

The increase in numbers of applicants for higher education has meant that growing numbers of students and parents are affected by the existing restrictions. In turn, this means, that questions affecting the capacities of schools, colleges, etc. and the rules for admission have assumed an increased importance for large groups of society.

The admission rules have a serious effect on students' choice of education. These rules have therefore to be coordinated with decisions on educational policy and educational administration.

As a result of educational research, the methods of student selection have increasingly often been brought up for discussion. Primarily, interest has centred on what type of students should be accepted and on what form grading should take. It is admitted, for example, that sutdents who will become the "best" physicians and surgeons should be accepted for medical training, but no one knows how to select such students.

The growing number of applicants to schools, universities, etc., the increasingly complicated methods of selection and limited resources and time available for actual admission procedures, have resulted in an acute need for rationalization of the methods of selection.

The interest that has developed in methods of selection for the above reasons has in turn resulted in an increased interest in coordinated admission to several schools, universities, etc. In some cases coordination may be limited to the adoption of common rules of admission. In this paper, however, only different forms of administratively coordinated admission procedures will be considered.

I-3. Advantages of coordinated admission procedures

A coordinated admission procedure allows a better survey and control of the entire admission system. It provides better possibilities of adjusting the capacity of different schools, universities etc. to the number of applicants. The statistical data which may be used for this purpose are discussed under I-7. below.

When several schools, universities, etc., to a large extent have the same applicants this will usually imply that the best students will receive offers from more than one of the schools, universities, etc. This will then give rise to a great number of withdrawals from the applicants. This will result in a lot of extra work for the selectors. The final result might be that some of schools (universities, etc.) will not have a sufficient number of applications, although there was a sufficient number of applications, to the total number of schools (universities, etc.) at the closing date for applications. If a coordinated admission system is introduced every applicant will only receive one final offer and a greater proportion of the total capacity will be allocated at once. This usually means that the limited educational resources can be better utilized, and that the administration of the entire selection procedure is simplified.

Co-ordinated admission systems make it more profitable to use modern data processing techniques for rationalization of admission procedures. In a few cases, the use of modern data processing techniques is a condition that must be satisfied for a co-ordinated admission system to work according to complicated selection rules.

Co-ordinated selection allows simplification of the information to students as to when and how to apply for admission. It is also simpler for the applicants if they have to submit only one application form, even if applying to several schools, faculties etc. Co-ordinated selection also results in more uniform evaluation of the applicants' merits.

I-4. Disadvantages of co-ordinated admission procedures

To complete the picture, some of the drawbacks of co-ordinated (centralized) admission should also be indicated.

A co-ordinated admission system tends to allow less scope for a personal and individual judgment of each applicant. This drawback can to a great extent be overcome by arranging for an individual judgment and grading of certain qualifications (e.g. qualifications from other countries) before the final selection is made. A small proportion of the vacancies, moreover, can be reserved for selection of applicants who lack the usual formal qualifications.

With co-ordinated selection large quantities of data must be processed within a short space of time. Unforeseen circumstances may cause serious delay of the entire procedure.

Great demands are made on the ability of applicants to fill in the application form correctly. (An applicant who has handed in an incomplete application, has, according to Swedish law, to be given the opportunity of completing his application).

The Body having formal responsibility for admissions might have some difficulty in getting a survey of the all-important technical details in the EDP (1) system. (This may be legally or otherwise circumscribed).

I-5. Some conditions for co-ordinated admission systems in Sweden

In comparison with many other countries the Swedish educational system has a fairly uniform structure. This allows a relatively uniform and fair system of merit rating. All comprehensive school pupils have gone through the same curriculum and are graded on uniform principles. The same applies, generally speaking, to the gymnasium and technical schools. At the academic level as well degrees and other qualifications with the same denomination, are equivalent, even if obtained at different universities and colleges.

Great technical problems, however, are involved in the fact that a type of education may occur in old and new forms. In some cases, when the new form is not directly comparable with the old, a quota system must be adopted.

Since private schools and educational institutes play a very small role in Sweden, there are relatively good prospects of reaching agreements concerning different types of co-ordinated admission systems.

The long established and fairly uniform system of merit rating has meant that selection of students based principally on formally documented merit (different kinds of grading in schools, faculties, etc.) is fairly accepted in Sweden. Psychotechnical or other tests are at present used to a limited extent. (In principle, however, an extended test system could be incorporated in a co-ordinated admission system).

---

(1) Electronic Data Processing.

The uniformity of the Swedish educational system implies a certain uniformity in the methods of ranking applicants for different lines of education. The government has issued certain general but fairly complicated rules for particular sectors of the educational system ("Kompetenskungörelsen" = the Qualifications Degree). For other sectors there is some uniformity insofar as different educational institutes have fully or partially identical regulations. This greatly facilitates the introduction of co-ordinated selection.

For a long time every Swedish inhabitant has had an individual national registration number used for several administrative and statistical purposes. By means of this national registration number (which includes the date of birth) every individual can be simply identified within the framework of a co-ordinated admission procedure by means of EDP.

Also with a co-ordinated admission system the principles of selection and the results must be published. A decision of the selection board may, in principle, be appealed against under Swedish law. (See also Appendix I).

I-6. Some important principles of the admission systems

Some important principles of co-ordinated admission systems that have been planned or are already used are presented below.

Every applicant may apply for several (but often for practical reasons, a limited number of) alternatives of education. The applicant states his choices in order of preference.

The admission of students to each alternative is based on the specific regulations concerning minimum requirements and evaluation of merits for each specified alternative. An applicant who has sufficient qualifications to be accepted for more than one stated alternative is accepted only to the alternative to which he has given the highest preference. The choice thus has no importance unless an applicant is qualified for acceptance to more than one of the alternatives.

The selection procedure comprises a number of operations :

(i) Checking that applications are complete and reasonable.

(ii) Checking that applicants have formal competence for the alternatives applied for.

(iii) Ranking of applicants for each of the alternatives.

(iv) Selection of applicants and reserves, for each of the alternatives.

(v) Notification of the selection results to the schools, universities, etc. concerned, and to the applicants.

(vi) After completion of the selection there remains, among other things, the allotment of reserves to vacancies arising through withdrawals.

I-7. Statistical analysis

Traditional educational statistics consist predominantly of "stock data", i.e. data of numbers of pupils, classes, teachers etc. at particular points in time. In order that the statistics may provide a better picture of what happens within education, the principle of "flow data" is being increasingly adopted; these indicate, for example, the movement of

pupils in the system between two observation dates. Neither type of statistics, however, can answer questions such as "How great is the social demand for teacher training ?". "What change takes place in the demand for other forms of education if the capacity of institutes of technology rises by 10 per cent?" "What is the total number of pupils demanding education at a given level ?".

To obtain answers to these types of questions, it is necessary to procure and analyse I.D. statistics concerning applicants and students admitted to different forms of education. A statistical system of this kind incorporates the flow data mentioned above, which are actually statistics of students admitted.

The Swedish Central Bureau of Statistics has been collecting data on every pupil who applies to the "gymnasium" and "Fackskola" for some years. Every local admission board has to deliver a copy of the first page of the admission form, and in the autumn every school with "gymnasium" or "fackskola" is asked to send a list with the identification number of all the first year pupils. The statistics are then analysed for every local gymnasium district.

The data of applicants obtainable from applicant-and-admission statistics, however, do not show the entire demand, since the majority of persons with clearly inadequate merits do not normally apply (1). Normally, therefore, the data of number of applicants must be regarded as minimum figures. But it is not out of the question that some of those who apply do not in fact wish to be accepted if they should get an offer. As already mentioned in an earlier section, all data in a system for co-ordinated admission offer a favourable basis for statistical analysis. Apart from figures of number of applicants and of students accepted, an analysis can be made of all details concerning applicants' merits and of the choices in order of preference. These various data are necessary if a proper analysis is to be made of the demand for different forms of education. This may be illustrated by the following greatly simplified example.

A simplified example

Twenty persons have applied for three alternatives, A, B and C, each of which has 5 vacancies. The possible choices in order of preference among these three alternatives are distributed as follows.

Choices in order of preference (e.g. AB signifies that an applicant's first choice is A and second choice B)	Number of applicants
A	1
AB	3
AC	
ABC	2
ACB	2
B	
BC	
BA	5
BCA	4
BAC	3
C	
CA	
CB	
CAB	
CBA	
Total	20

(1) Wallberg, K., Cassel, P.G., "Demand for Higher Secondary School (Gymnasium)-Education in Sweden". O.E.C.D., November 1963. Mimeographed.

This means that there are 20 applicants for A
19 " " B
11 " " C

Provided that sufficiently many of the applicants fulfil the minimum entrance requirements all 5 vacancies should be filled at A and B. But it is less certain that all vacancies at C can be filled.

The order of priorities for the three forms of education is tabulated below

Education	A	B	C
First choice	8	12	-
Second "	8	5	6
Third "	4	2	5
Total	20	19	11

The presentation used above does not answer the question whether all vacancies in C will be filled or not, as this also depends on the merits of each of the applicants. It may happen that all pupils accepted for A and B are among the 11 who stated C as a possible alternative. If this is so, there would be only one applicant left for C. Nor do the tables show what may be expected to happen if the capacity of C increases while A and B remain constant.

This grossly simplified example illustrates that for a complete analysis of the demand for education one needs data of the merits as well as of the order of priority for each of the applicants.

Administrative data may often be suitable for statistical processing. These data are often of considerably better quality and subject to less non-response than specially collected statistical material. The statistical analysis of the material used as a basis for the actual selection may be said to be a good example of this principle. This material comprises all the information taken into consideration at the admission. It has to be pointed out, however, that some changes may take place after the first selection has been made. It may therefore be necessary after courses have started, to make a supplementary collection of data to see which of the accepted students did not start the course and which obtained the places thus becoming available.

It may be of interest to use the available data to illustrate the following points.

The distribution of applications among the various alternatives. The number of first choices, second choices, etc. for each of the alternatives.

How many students were accepted for their first choice, second choice, etc.

Regional distribution of applicants (address is assumed to be included in the EDP-system).

The way of choices. How many of the applicants choose primarily among alternatives available near their homes (or, for example, at a particular university), and how many apply for a specific branch of education at several schools, universities, etc ? Interesting information, in general concerning the principles of preference of profession and study should be obtainable from an analysis of this type of material.

Among the most interesting problems that can be illustrated by this type of statistical material are questions of what will happen if a change occurs in the capacities or in the selection rules. An analysis of this kind can presumably be made only by going though all the applications once again, but, this time, on the basis of the new hypothetical assumptions. The ordinary selection procedure is thus used for a simulation by the computer programs. The new result is then compared with the result of the ordinary selection. This can be done by a table of the type showed below. A simulation of this kind cannot

definitely reveal the exact effect of changed regulations, since the change may be expected to result in a change in the number of applications etc. But a simulation should provide valuable information of the general effect of a particular change.

By means of complete application-and-admission statistics of the type obtained as a secondary product in a system of co-ordinated admissions one can gain an extremely valuable picture of the student flows within the educational system and of the total demand for education..

Since Swedish I.D. statistics are based on individual national registration numbers, it would also be possible, through the use of computers, to follow individual applicants in different years, and possibly at different levels, and later to trace the pupils in the census material (to see what profession, occupation etc. they have adopted). In the long term view this provides a prospect of building up a complete model of the educational system within which all pupils can be followed throughout their period of education. A system of this kind could also provide data concerning the number of individuals who annually pass from the educational system to the labour market (and vice versa), as well as complete particulars of their educational qualifications. The possibilities of realizing such an ambitious program of educational statistics, however, have not been investigated.

Table which can be used to show the difference between the results obtained by two different selection procedures (A and B) :

Result of selection procedure A

Result of selection procedure B: Students admitted to alternative	Students admitted to alternative I	II	III	IV	etc.	Students not admitted
I						
II						
III						
IV						
etc.						
Students not admitted						

II. Survey of Present and Planned EDP Systems for Admission

II-1. Introduction

Co-ordinated admission has long existed in Sweden for certain forms of education - e.g. for medical faculties and institutes of technology. The older of these systems was based on manual or punched-card routines. This survey will deal solely with admission systems based on the use of an electronic computer.

II-2. Admission to the institutes of technology

There are at present three institutes of technology in Sweden. These comprise twelve, seven and six alternative branches respectively, several branches being represented at more than one institute. In the autumn of 1966 the institutes of technology has a total capacity of 2,072 places for new students.

Since 1964 the admission to the institutes of technology has been co-ordinated under the Office of the Chancellor of the Swedish Universities. Applicants must state for which of the 25 (12+7+6) departments they wish to be considered. They may apply for at most six alternatives and shall state their order of preference. They shall submit their application form a complete set of qualification documents, from which the points are calculated manually within the Chancellor's Office. The selection of applicants to the 25 alternatives is done with a computer in admission procedures. The program was made up specially for admission to the institutes of technology, being directly adapted for the special selection criteria employed for this purpose. The experience gained was used to some extent for later, more general EDP systems.

In the autumn of 1966 there were 3,300 applicants for the 2,072 vacancies. The applicants choose, on average, 4 alternatives. About 40 per cent of applicants made use of the opportunity of applying for six alternatives. Subsequent to the selection the computer has also produced certain statistics concerning the applicants and nominees. Interesting facts came to light concerning among other things,

(a) the order of preference stated for the various branches

(b) earlier education of applicants and admitted students

(c) domicile of applicants and nominees.

II-3. Admission to summer courses for teachers

The Board of Education arranges a large number of in-service training courses for teachers every summer.

In the summer of 1966, 15,000 teachers applied for 9,500 vacancies on such courses. As each teacher applied for more than one course, there were some 40,000 applied alternatives for the 9,500 vacancies at nearly 300 courses. The number of courses and vacancies has greatly increased in recent years, and may be expected to increase still further.

The selection is based principally on :

(a) Whether the teacher's job is such that he has a special need for in-service training. Thus some priority is given to teachers who are engaged on regional in-service training activities, or on the training of teachers, and to principal teachers.

(b) Whether the applicant has previously been on a similar course. The aim is that the summer courses shall be attended by as many different teachers as possible. An attempt is therefore made to avoid the same teachers returning to the courses year after year.

(c) Whether the applicant's age, education and teaching experience suggest attendance at a particular course.

The admission must be made within a very short space of time, as it has not been considered advisable to call for applications too early in the spring. The shortage of time, the need for particulars of participants at summer courses in previous years, the large number of applications, and the rather complicated selection procedure, are the main reasons why an EDP system for admission was adopted in 1965.

Every applicant submits only one form for all applied alternatives.

A far-reaching aim of this data processing system is to build up a complete register of teachers who have attended a summer course. This register, in conjunction with a total register of teachers, can provide information concerning teacher groups which need to be encouraged to apply for a course. It has recently been discussed in Sweden whether compulsory in-service training should be introduced. Obviously a register of this kind is essential especially if in-service training is made compulsory.

On the whole, the admission system may so far be said to have functioned satisfactorily. The main problem has been in the filling-in of the application form which, owing to the principles of selection, has contained a large number of particulars. Successive improvements of the application form should help to remedy this situation.

II-4. Admission to pre-primary teacher-training colleges

There are 14 training colleges for pre-primary teachers. In 1966 there were 2,700 applicants for 1,100 vacancies. Pre-primary teacher training has expanded rapidly in recent years, and likewise the number of applicants.

In the past few years the admission for the 14 training colleges has been coordinated. On account of the shortage of time and the amount of work involved in a manual procedure, an EDP system for admission has been adopted as from 1966. The system of selection for this purpose is reported in detail in section 3 of this report.

Applications for all training colleges are made on a single form, on which the applicant states which of the 14 colleges he wishes to enter. The admission process is almost entirely mechanized. The minimum requirements are a certain schooling level and practical experience. To permit a more graded evaluation of applicants not complying with the minimum requirements but otherwise particularly well qualified, a manual selection was made on a limited scale on the basis of a specially produced list of applicants of high age, long practical experience or very high school grades (cf. section III).

The experience of the first year's admission has been mostly satisfactory. The problems have been in the filling-in of forms and in the manual procedure before the data-processing starts. These problems should be fairly easy to solve.

II-5. Admission to higher professional schools, faculties and university courses with numerus clausus

At the Swedish universities entry to the faculties of theology, law, arts, social sciences and natural sciences is unrestricted. Within the latter two faculties, however, a

numerus clausus is adopted in the basic courses in certain subjects. Principally on account of the lack of facilities for laboratory work entry is restricted to the basic one- and two-semester courses in physics, chemistry, botany, zoology, genetics, micro-biology, limnology and psychology.

In the autumn of 1964 the Office of the Chancellor of the Swedish Universities appointed a working group to draw up uniform rules for admission to these courses. The working group found that as a rule not all vacancies in these subjects were filled, since students who had been accepted for the basic course often withdrew just before the course was to start.

These withdrawals were often due to the fact that the student had been accepted at a faculty or college with a numerus clausus, e.g., a medical faculty or an instute of technology. The working group made proposals for rules as to how the students merits should be evaluated in the selection of applicants. To reduce the number of vacancies owing to withdrawals the working group also suggested that the admission for subjects with numerus clausus should be co-ordinated with the admission to practically all other colleges or faculties with numerus clausus.

There had earlier been a joint manual admission for all medical training and a joint EDP admission system for technological training (see Section II-2). In other cases each educational institution had its own admission board.

According to the new proposal the admission for all faculties and higher professional schools and university courses with a numerus clausus will be based on the same principles of merit rating as hitherto. But applications for all the alternatives will be made at the same time and on a single application form.

In addition to name, address and national registration number, the forms comprise the choices of alternatives in order of preference (max. 15) and attested data from the applicant's testimonials, such as gymnasium leaving certificate, university courses, etc. The information on the form is recorded on punched cards, for which purpose all marks usually occuring need merely be coded. The computer checks the reasonability of the data and whether each applicant is qualified for acceptance at the various alternatives chosen. After the submission of supplementary particulars, if necessary, the computer can calculate the applicant's "points" for the various alternatives, different principles of point rating being employed for the different alternatives. In the case of applicants with unusual qualifications or with qualifications from foreign countries, these must be examined and treated manually prior to the punching of the data on the application form.

After the mechanical computer point-rating a simultaneous selection is made to all alternatives. The computer then prints lists of applicants and nominees, notifications to the universities, colleges, etc. as to which students have been selected, and notifications to applicants as to where they have been accepted or placed on the reserve list.

The proposed system is planned to be used for the first time in 1968. It is expected to comprise about 4,000 vacancies for around 85 courses with a numerus clausus (at five universities). The system will also comprise about 5,300 vacancies at a total of about 50 alternative branches (at about 20 faculties and colleges). About two-thirds of the vacancies will be filled during the summer in preparation for the Autumn, the remainder between Christmas and New Year for the Spring semester.

The admission procedure is estimated to take about one and a half months from the closing date of applications to the notification of the applicants.

After completion of the mechanical admission procedure there remains the manual work of contacting reserves if any nominee has withdrawn. This work, however, is expected to be of limited extent.

Afterthe entire admission procedure has been completed, the Central Bureau of Statistics should be able to take over the various registers for direct production of statistics concerning applicants and nominees.

II-6. Admission to "gymnasium" and "fackskola"

In 1966 there were more than 60,000 applicants for about 45,000 vacancies at the "gymnasium" and the "fackskola". The "fackskola" has not yet been fully developed. Owing to the continuing development of the "fackskola" and to the growing demand for upper secondary education the number of applicants will rise considerably in the next fex years.

In 1966 the gymnasium was radically reformed and the "fackskola" was introduced in its definitive form - it had earlier been operating on trial. The "fackskola" is parallel to the gymnasium and gives a two-year theoretical education that is more specialized and more labormarket oriented than the gymnasium (cf. Appendix I).

The country is divided into some 120 gymnasium regions. Admissions are generally made separately for these 120 regions, though in some cases the areas are combined into larger reception areas. In principle applications to "gymnasium" and the "fackskola" must be made in the gymnasium area in which the applicant is resident.

Pupils are accepted either for the "gymnasium" or the "fackskola". Within these two forms of schooling there are big possibilities for the pupils to choose different streams and subjects already at the first year of study. An applicant to a gymnasium has the choice of 4 groups of subjects. There is also a choice as regards second and third language and, in some cases, practical and aesthetic subjects. At the "fackskola" the range of choices is still greater. There are four streams with altogether 7 branches, in addition to choice of languages and certain other subjects. The local organization in thus dependent on the pupils' choices, which creates great problems of timing and planning. The planning problems are complicated by the fact that many of those who apply for entrance to the "gymnasium" are admitted to the "fackskola",which was their second choice. The admissions are at present not finally decided until the beginning of the Autumn semester. In the autumn of 1966, applications to the "gymnasium" and the "fackskola" were made for the first time on a single form. Quite obviously the present manual selection procedure is very laborious. There are other complicating factors as well : one quarter of the vacancies at "fackskola" are reserved for older applicants. The gradual introduction of the new comprehensive school means that comprehensive school pupils and pupils from lower secondary schools, etc., apply simultaneously to the gymnasium. As their grades are not comparable, a quota procedure has to be adopted.

In this particular sphere, obviously, there is a strong need for computer-based admission. In the first place a manual admission procedure for the larger reception areas will probably in some years become impossible, in the second place the need for an earlier and better base for planning is very acute both at local school administrations and in the central administration. The admission capacity is decided upon by the parliament and is distributed upon the different regions by the National Board of Education. An EDP system for admission permits an entirely new kind of analysis, which may be of great value especially for the central planning.

The National Office for Organization and Management and the Board of Education are therefore working jointly on a plan aimed at the introduction of an EDP system for admission. The idea is that a preliminary selection will be made in the spring on the basis of Autumn Term grades in order to allow for rapid planning. A preliminary computer selection makes it possible, to take into account the overflow from the "gymnasium" to the "fackskola" in the spring. This is at present not possible.

A system of admission for the "gymnasium" and the "fackskola" will be much more complicated than that reported in section 3, one reason being that it involves both a preliminary and a final selection.

II-7. Possible additional extension of the technical admission systems

A further extension over and above the five areas considered is extremely probable. In the long run it is conceivable that the admission to "gymnasium", "fackskola" and vocational schools will be co-ordinated. It is also probable that the admission for numerus clausus academic education will be extended to cover certain other post-secondary education as well - e.g. some teacher training - and, in conjunction with the reform of the faculties of arts and sciences, non-restricted academic education as well.

III. Description of an EDP System for Admission

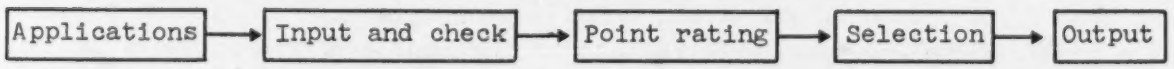
III-1. Introduction

(A) Rationalization in the Swedish civil service

Every board in the Swedish civil service is responsible for the rationalization of its own activities. There is however a special board for administrative rationalization in general, the National Office for Organization and Mangement. The Office has had the main responsibility for the introduction of EDP to the civil service. In its work on the development of data processing systems it tried, as far as possible, to find solutions which can be applied to similar problems in other fields also.

As early as 1962-1964 the Office worked out an EDP system for selection of students for the institutes of technology (cf. II-2.). In 1964 the Swedish police force was reorganized and a very large number of police appointments had to be made. The National Office prepared an EDP system which was used for allotting the roughly 15,000 vacancies among the applicants. These two systems were applicable only within their respective fields. But as it was realized that EDP could be applied to many problems of this kind, a more general system was drawn up. This system was used in the summer of 1965 for the admission of teachers to summer courses (cf. section II-3.). The system can in principle be used for any number of applicants and for any number of courses. As from 1966 an EDP system is used for central admission to all pre-primary teacher-training colleges in Sweden. It has been decided that the National Office shall draw up an EDP system for central admission of students for faculties, colleges etc. with a numerus clausus and for courses which have a maximum capacity within the faculties of arts and sciences. An investigation is also made concerning the use of a central EDP system for admission to the "gymnasium" and the "fackskola". The three latter systems are based on the general system.

(B) General principle for EDP systems for admission



The admission system consists in principle of the following phases :

(a) Each applicant submits a single application form, on which he states his choices in order of preference, among the alternatives applied for, and information of previous education etc.

(b) Input and check. The information on the application forms is transferred to punched cards. This information is then transferred to a register of all applicants, which is then sorted. At the same time a logic check is made that the information on the

punched cards is consistent and that applicants possess the minimum required qualifications.

(c) Rating the points. On the basis of the data in the register of applicants the computer calculates the points needed for an applicant to be actually selected.

(d) Selection. On the basis of the applicants' choices in order of preference and of the calculated points the computer selects applicants to the available vacancies.

(e) Output. After the selection has been made, there remains the production of all the various lists and notifications which constitute the final product of the technical admission procedure.

A more detailed account of the technical procedure for admission of students for the pre-primary teacher training colleges is given below.

III-2. An example : Admission to pre-primary teacher-training colleges 1966

(A) Conditions for the system

In Sweden there are 14 pre-primary teacher-training colleges with altogether 1,100 vacancies (1966). There were 1,717 applicants in 1965 and 2,694 in 1966.

Applicants may apply to be admitted to any of the colleges in the country (irrespective of the applicant's place of residence and the location of the college). The same rules of point rating apply to all fourteen colleges, which means that in this case only one set of points need be calculated for each applicant.

The Board of Education handles the admission for all fourteen colleges and also makes the final decision concerning the admission. The manual admission procedure prior to 1966 was conducted under great pressure at a time of the year when the Board of Education already had a great amount of work. It was therefore difficult to get through the admission within the time available.

Centralized admission is advantageous both for the applicants and for the colleges. For the Board of Education it was important to reduce the work on the actual admission procedure. Since admission took place on the same principles every year, it seemed natural that it should be done by EDP methods.

The actual work on the system and programming was done in 1965-1966. The new system saved about half of the annual costs of the actual admission procedure. It has also improved the situation within the Board of Education and increased the reliability of the selection procedure.

(B) Input

(See flow Chart, App. II).

Each applicant must state his national registration number, which is unique to every inhabitant of Sweden. Every incoming application form is marked with a serial number, which is used for identification in the data processing system and for easy retrieval of the original application forms, which are stored in order of serial numbers.

The applications are examined only on a spot check basis before being punched. Four to six punched cards are obtained for each applicant. The cards are sorted by serial number and type of card to check that the entire material is complete. The entire material is verified (i.e. punched a second time).

The punched cards are checked by means of a special data processing program, checks being made for every applicant that the necessary particulars have been supplied and that

codes, points etc. are reasonable. A record of faults and incomplete particulars is obtained on a list of errors. By means of this list it is possible to go back to the application form for control and correction.

The next step in the input program is to check that every applicant possesses the minimum qualifications for acceptance - i.e. minimum requirement in respect of age, nationality, general schooling and practical training - some of which is formulated as a number of alternative requirements.

The computer prints a notification to each applicant stating either that the minimum qualifications are fulfilled or that specified requirements are not fulfilled. These notifications can be mailed directly in window envelopes to the applicants, who are thus enabled to submit supplementary particulars, if required, before a given date.

The final result of the input program is a magnetic tape containing the checked particulars of all applicants (the G tape).

(C) Rating the points

The point rating is based on the G tape and on the supplementary data received. The latter are checked so that a correction can be made if they are unreasonable.

The point rating procedure follows detailed rules which are common to all colleges. Only the total points, therefore, - needs to be calculated for each applicant.

As a result of the point rating and the following sorting two register tapes are obtained.

(i) The SA tape contains all applicants, with name, address, national registration number, serial number, colleges applied for in order of preference, and total points. The individuals are sorted in order of total points.

(ii) The SP tape comprises all alternatives (applications) with statement of college applied for an the total points for each applicant. An applicant who applies for three colleges thus gives rise to three records, each of which comprises the code number of the respective college and the total points of the applicant. The alternatives applied for are sorted by colleges and total points.

(D) Selection

(a) Selection table

The selection is based on data of the required number of nominees (= vacancies) and of reserves for every college. These data are fed into the system by punched cards (cards for the selection table). On the basis of these data the following selection table is set up in the computer storage. The number of vacancies in column C and of reserves in column F (for college 01) being assumed to be 44 and 21 respectively.

College nr								Min Points for	
	Applicants	Vacancies	Selected	Rejected	Reserves	Selected	Rejected	Selected	Reserves
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
01		44			21				
02									
03									
etc.									

The SP tape is now processed on the basis of the data in the selection table. All applications for college nr 01 are previously arranged in descending order of points for the applicants on the SP tape. The total points for the 44th application are inserted in column I of the selection table, the points for the 65th application in column J (44 + 21 = 65). In this way the minimum points for nominees and reserves for college 01 are obtained in the first selection. The same procedure is followed for the other colleges.

(b) First selection run

All applicants on the SA-tape are examined one by one, against the minimum points in the selection table. If an applicant has chosen a specific college and the points of the applicant exceed the minimum points for the college the applicant is entitled to selected to that college. If the points of the applicant are sufficient for selection to more than one college the applicant will only be selected to the one of these he prefers according to the application form. An indication is made on the according to the application form. An indication is made on the SA-tape for the college to which the student in this run has been selected. The same method is used for selecting the reserves. The only difference is that a position as reserve can only be received at colleges given a higher reference that the college to which student is selected. (As to students, who are not selected there is accordingly no difference).

Every time an applicant is accepted or placed on the reserve list the value of one is added to column D or G in the row for the college concerned in the selection table. (Every time an applicant in the following selection runs, which are mentioned below, abandons a college to which he had earlier been accepted the value of one shall be subtracted from the column D and added to the column E on the row of that college. But at the same time the value of one is added to column D on the row for the college to which the applicant has then been selected. - The similar procedure holds also for the reserves).

If several applicants have the same total points, it may happen that there are more applicants with minimum points than there are available vacancies. A continuous check must therefore be made that the number of nominees is not greater than the number of vacancies. Other individuals, if any, who fulfil the minimum points requirement are placed as reserves.

(c) Subsequent selection runs

Many applicants apply for several colleges and also have the minimum points for acceptance at more than one college, but no applicant is selected for more than one college. After the first selection, therefore, a large number of the vacancies may remain unfilled and a second selection run must be made.

For this purpose the SP tape is compared with the selection table. A new lower limit for acceptance (minimum points) is calculated for each college. The new minimum points are the points for the application with the consecutive number which corresponds to the sum of the number of vacancies and the number of rejects (col. C + col. E). The new minimum points for reserves are determined in the same way by taking the total points of the application whose consecutive number corresponds to the sum of the number of vacancies, the number of reserves, the number of rejects and the number of rejected reserves (col. C + col. F + col. E + col. H). The new minimum points are inserted in the selection table.

The SA tape and selection table are now processed together. Every applicant is again selected for the alternative with highest priority for which the applicant can now be considered. If the applicant has earlier been selected for a lower alternative, the value of one must be subtracted from column D (selected) and the value of one added to column E (rejected) for that college. Otherwise the principles are the same as for the first selection. The selection of reserves is done on the same principles as for the filling of vacancies.

Even after the second selection one may expect that not all vacancies have been filled. A third, fourth, etc., selection must therefore be made.

During the successive selection procedures persons who have been selected to their first choice are successively transferred to a U tape, since these applicants are no longer affected by subsequent selection runs. after the final selection all remaining individuals are transferred from the SA tape to the U tape, which thus comprises all applicants with indications as to which have been accepted and which have been placed on the reserve list.

The system has been used on two occasions, one of which only on trial. In order to reach a satisfactory result, 6 selection runs were made in 1965 and 8 in 1966.

(E) Output

The result of the selection is presented in the form of the U tape. The SU tape is obtained by sorting the U tape in order of serial numbers. This information must now be used to inform the applicants and colleges of the result of the selection. From the SU tape the following four tapes are obtained.

(a) The D tape comprises all accepted applicants. The data are sorted according to college and total points, so yielding the SD tape. This is used for printing a list of all nominees at every college.

(b) The R tape comprises all reserves. The data are sorted according to total points, so yielding the SR tape. This is used for printing a list of all reserves.

(c) The E tape comprises unqualified applicants, having in some respects, very good qualifications etc. (see App. VI). The E tape is used for printing a list from which selections are made manually. A very limited number of applicants are accepted in this way. A number of vacancies are reserved for manual selection.

(d) The B tape comprises all qualified applicants sorted in order of total points. From this tape a list of all qualified applicants is produced, with indication of whether they have been accepted, placed on the reserve list, or unaccepted.

(F) Input and output data

(a) Input material

(i) Application form (cf. App. III). Only one form is submitted by each applicant, which must be done at the latest by April 1st. Supplementary information may be submitted up to June 15th, for which the applicants need merely fill-in name, serial number, national registration number, and the supplementary particulars.

(ii) Punched cards for applicants. Four to six cards are punched for every application form. Card type 2 indicates summer address (if stated), type 4 school grades - two such cards may occur.
Supplementary particulars are punched in the same way, the only data required being name, national registration number, serial number, and the new particulars.

(iii) Selection table card for each college, with data of vacancies (except those vacancies reserved for the manual selection) and of required reserves.

(b) Selection material

(i) Notification of qualification (list 1). At the end of April a notification is sent to all applicants stating whether the applicant is qualified for acceptance or not, with information of serial number. (Medical certificates and certificates of fitness, however, are examined only after the selection has been completed in principle).

(ii) Advice of acceptance (list 8). The computer prints a notification to every applicant who has been accepted with the name of the college for which he has been accepted. Name and address are also printed on the notifications so that they can be mailed in window envelopes.

(iii) Notification to rejected applicants (list 4). The computer prints a notification to every rejected applicant. For addressing and mailing see above.

(iv) Lists printed after the expiry of the application period but before the selection has started.

List 2 : The applicants are listed in order of serial numbers
List 3 : The applicants are listed in alphabetical order

These lists constitue a preliminary documentation concerning the applicants and are stored within the National Board of Education.

(v) List printed after the selection has been made.

List 5 : From the E tape a list of applicants from whom selection is to be made on a manual basis is printed (see III-E-C).

List 6 : From the SR tape a list of reserves in order of total points is printed. The necessary reserves are selected centrally from this list.

List 7 : From the SD tape, for each college a list of nominees in order of points is printed. Each college receives a copy of its part of the list.

List 9 : From the B tape is printed a list of all qualified applicants in order of points, stating to which college the applicant has been nominated or placed on the reserve list, or that the applicant has been rejected.

III-3. Some comments

(A) Programs and computer

The system consists of 18 programs including the sorting programs. The processing has hitherto been done on an IBM 1401 with storage corresponding to 8 K, connected to a console type-writer IBM 1407. For the sorting programs a larger computer has been needed, the IBM 7070. The programming language has been IBM Autocoder.

(B) A comparison with planned systems

An account has been given above of the technical procedure for admission to pre-primary teacher training colleges since this system has been tried out and is in principle quite simple. As only one set of points needs to be calculated for each applicant in this system, however, the actual selection could in this case be done in a more direct way.

The proposed system for admission to restricted-entry education at the academic level is considerably more complicated. This is due, among other reasons, to :

(a) Different institutions to some extent adopt different methods of rating merit and allocation of vacancies (some vacancies at an institution may be allocated on one principle and the remainder on another).

(b) An increasing number of foreigners and of Swedes with foreign qualifications are applying to universities and colleges. This requires manual assessment and point-rating of merit (simultaneous with the point-rating by the computer) prior to the selection procedure.

An EDP system for admission to "gymnasium" and "fackskola" will bring the following additional problems, among others :

(i) Every pupil will be restricted to one or a few geographical areas.

(ii) A preliminary selection based on autumn semester school grades must be made for purposes of planning. Only when the spring semester school grades are available can the final selection be made.

Appendix I

(Appended to Section I)

A short survey of the educational system in Sweden

1. Introduction

The general structure of the educational system in Sweden is shown in diagram 1. In Sweden the private sector in education is very limited. The educational system is rather uniform as curricula, maximum class sizes, teacher salaries and teacher training to a big extent are decided upon by central authorities.

2. Pre-primary education

The pre-primary education in Sweden has mainly two forms : day nurseries and kindergartens. The day nurseries provide for attendance the whole day or at least five hours. The kindergartens provide for only three hours attendance. The educational activities are the same, while kindergartens do not accept under three or four years of age. The number of places is 12,000 in day nurseries and over 50,000 in kindergartens. The capacity of day nurseries is expected to be more than doubled in a few years.

3. The comprehensive school

The new comprehensive school in Sweden was introduced in 1962 after a fairly long trial period. The structure of the new comprehensive school is shown in diagram 2. It is introduced gradually in the municipalities with grade 1-5 from 1962/63 to 1968/69. In the school year 1966/67 the new comprehensive school comprises 95 % of the pupils in grade 1-5. The same year grade 9 of the new comprehensive school comprised 60 % of the corresponding age group. As grades 7-9 replace the lower secondary school system this system still exists and will not entirely disappear until around 1972. In autumn 1966 the number of pupils in the new comprehensive school was 830,000, in the old compulsory schools 65,000 and in lower secondary schools 60,000.

4. Upper secondary level

The upper secondary education consists of the "gymnasium", the "fackskola" and the vocational school. According to a parliamentary decision 1964 the "gymnasium" is radically reformed from the school year 1966/67. The same year a new school, the "fackskola", has started after a three year trial period. According to the same parliamentary decision the "gymnasium", the "fackskola" and the vocational school will be organized in the same school units. The structure of the "gymnasium" and the "fackskola" is shown in diagrams 3 and 4. A bill on the vocational school is being prepared to be presented to the parliament in 1967. The number of fulltime pupils is at present 100,000 in the "gymnasium", 17,000 in

the "fackskola" and 70,000 in the vocational school. The "fackskola" is planned to comprise 40,000 pupils in 1970. The "gymnasium" and the vocational school is as well estimated to expand but in a more limited scale.

5. Post secondary education

(a) Academic education

In Sweden there are five universities with the following faculties : Theology, Law, Medicine, Liberal Arts, Social Sciences, Natural Sciences, Dentistry and Economics. Moreover there are specialized universities in Technology, Economics, Agriculture, Forestry, Veterinary Medicine, Social Work and public administration and Pharmacy. The number of students enrolled is at present nearly 70,000 which is estimated to raise to nearly 90,000 in the beginning of the 1970's. At present the entry is free to faculties of Theology, Law, Liberal Arts, Social Sciences and Natural Sciences. A numerus clausus is however adopted in basic courses in some laboratory subjects. In all other faculties and specialized universities a numerus clausus is adopted.

(b) Other post secondary education

The other post secondary education is very diversified. Private education is more common in this educational sector than in the other ones. Large fields are teacher training, nursing and training for bank and insurance officers. The intake capacity is estimated to some 15,000 in 1965. Internal in-service training is not included in the figure above.

Diagram 1

THE STRUCTURE OF THE NEW SYSTEM OF EDUCATION

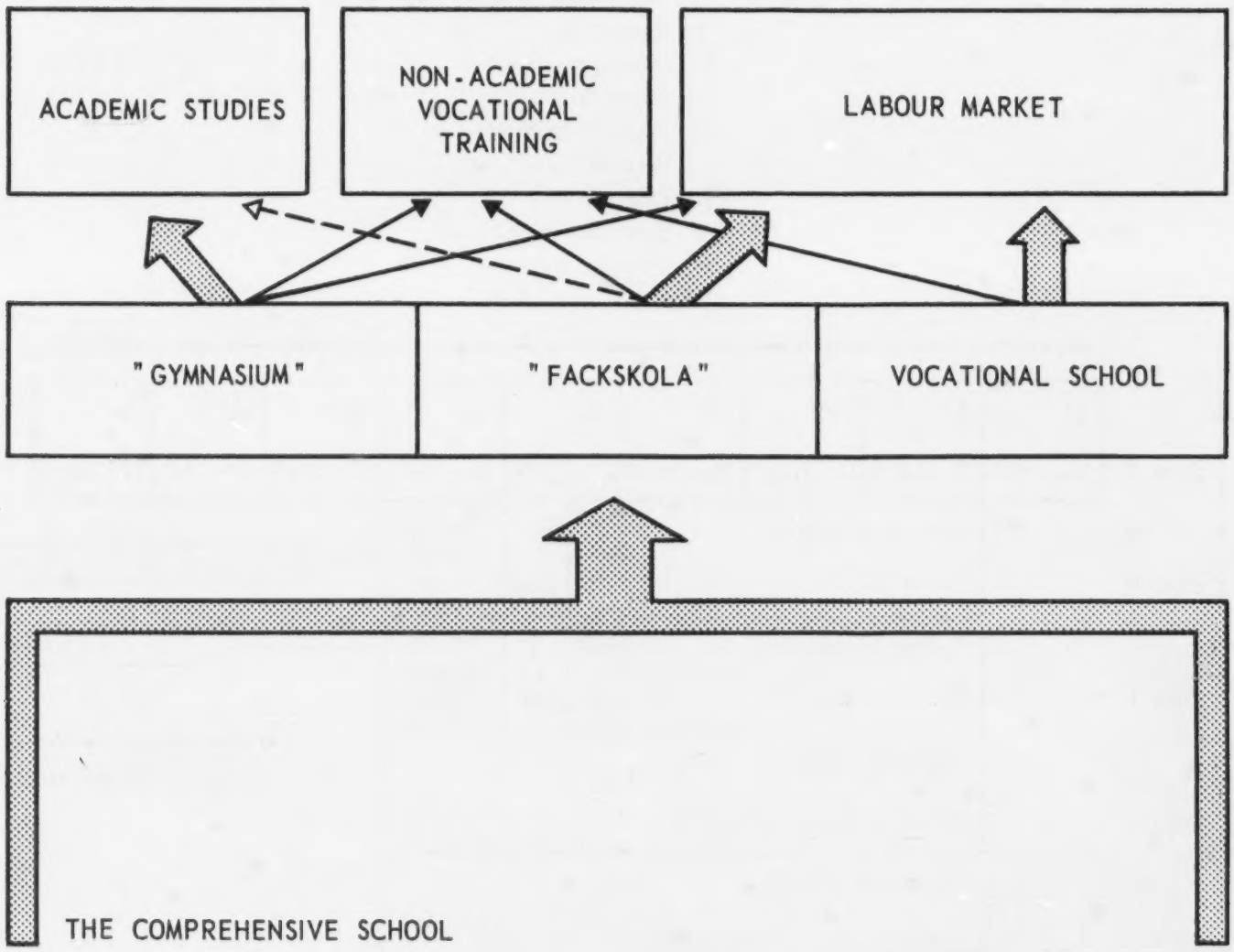
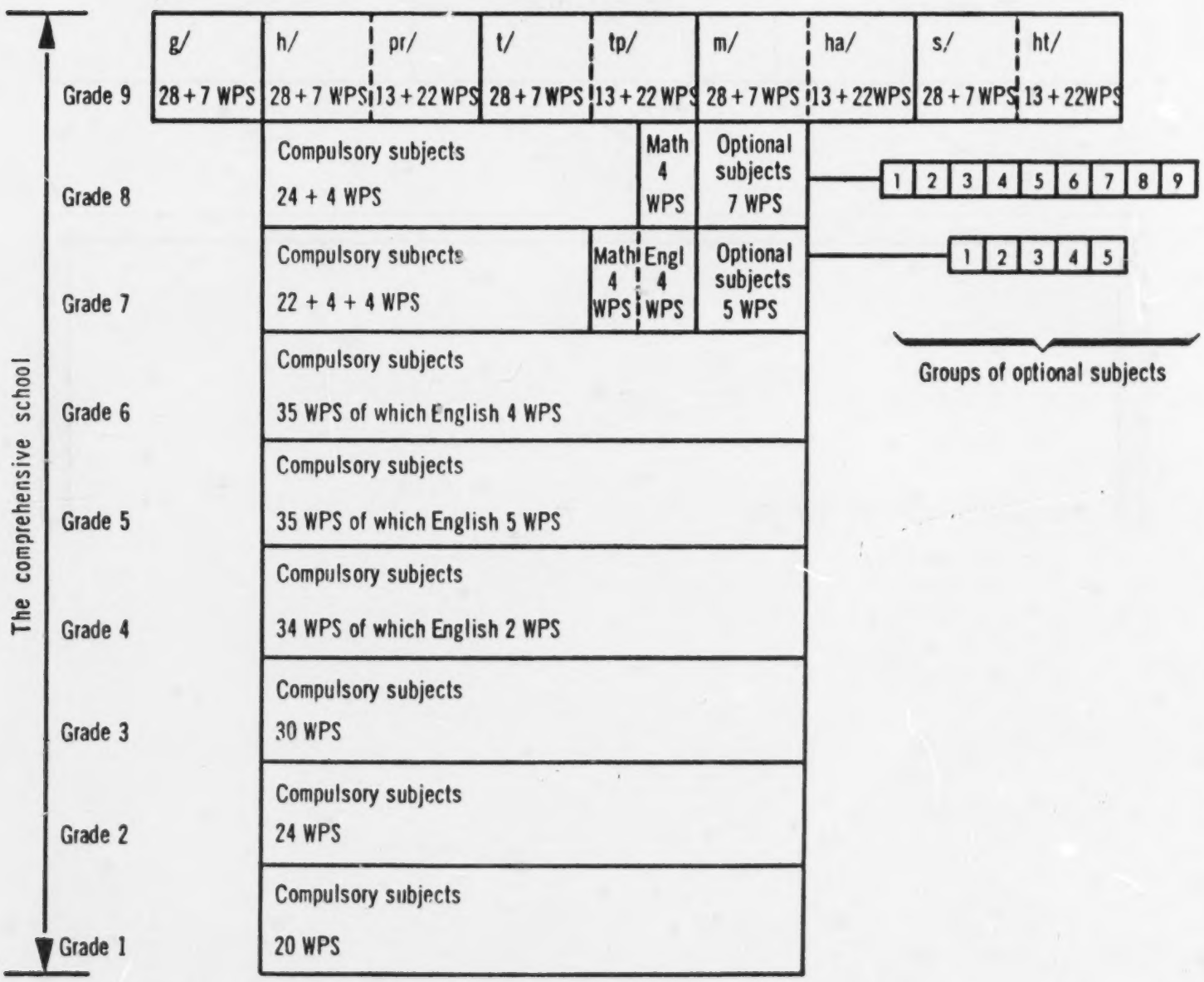


Diagram 2

THE ORGANISATION OF THE COMPREHENSIVE SCHOOL

Grade 9 :
- g Direct preparation for "Gymnasium"
- h Humanities
- pr General-practical
- t Technical
- tp Practical-technical
- m Mercantile
- ha Commercial
- s Social-economic
- ht Domestic science



Note: WPS = Weekly periods (hours per week).

Diagram 3

THE GENERAL STRUCTURE OF THE REFORMED "GYMNASIUM"

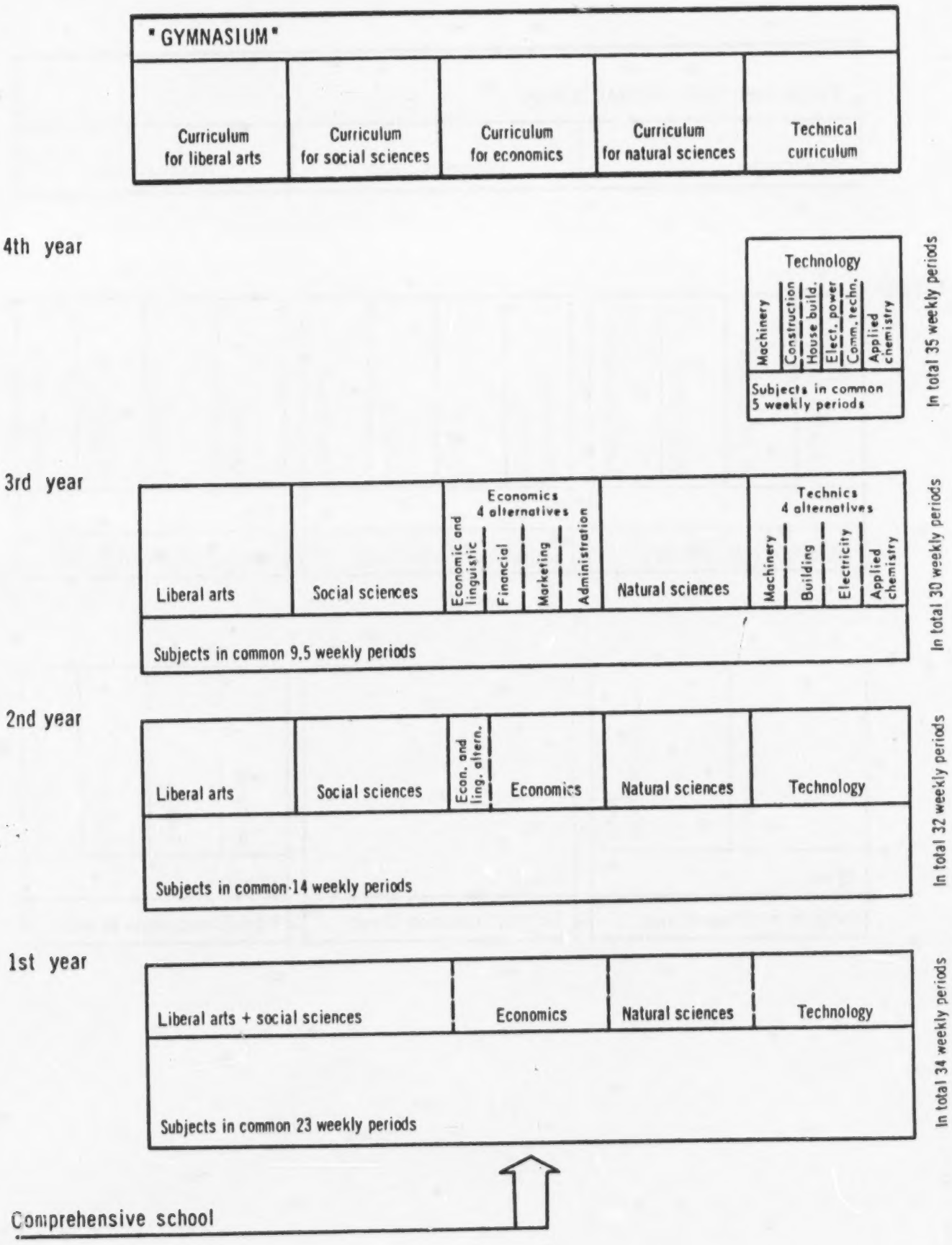
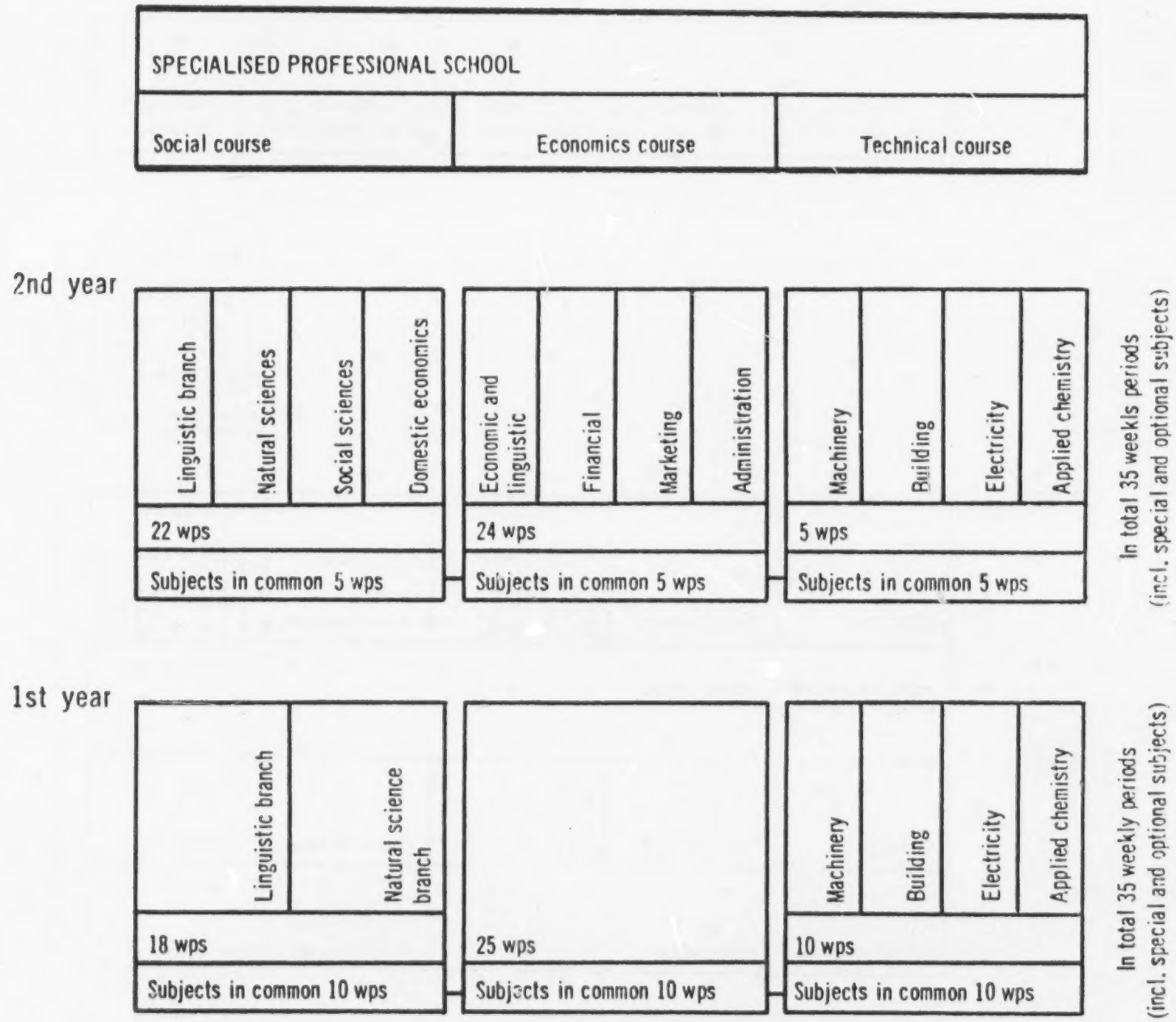
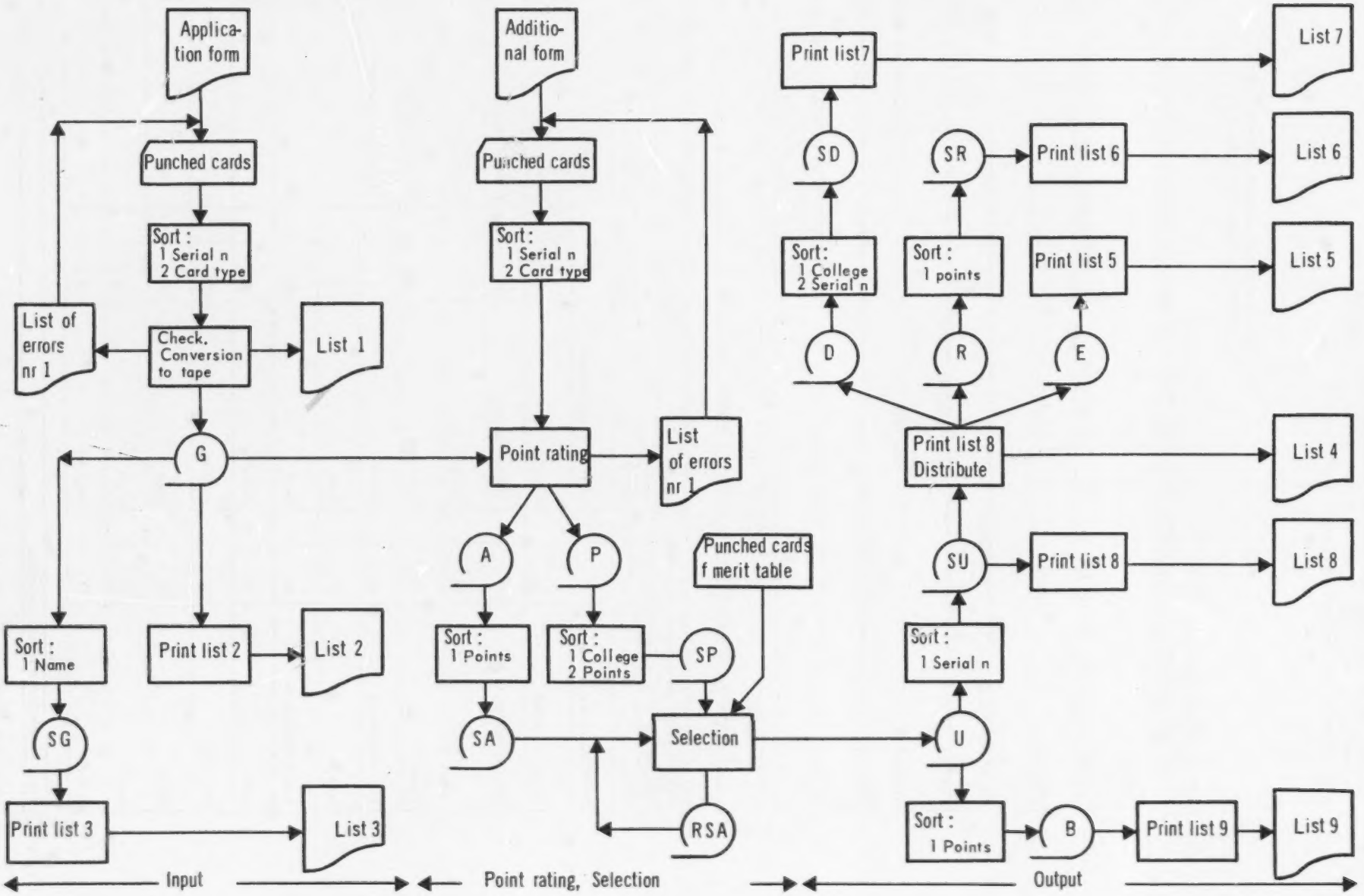


Diagram 4

THE GENERAL STRUCTURE OF THE SPECIALISED PROFESSIONAL SCHOOL FACKSKOLA




Application form
Punched cards
Sort : 1 Serial n 2 Card type
List of errors nr 1
Check. Conversion to tape
List 1
G
Sort : 1 Name
Print list 2
List 2
SG
Print list 3
List 3
Additional form
Punched cards
Sort : 1 Serial n 2 Card type
Point rating
List of errors nr 1
A
P
Sort : 1 Points
Sort : 1 College 2 Points
SP
Punched cards f merit table
SA
Selection
RSA
Print list7
List 7
SD
SR
Print list 6
List 6
Sort : 1 College 2 Serial n
Sort : 1 points
Print list 5
List 5
D
R
E
Print list 8 Distribute
List 4
SU
Print list 8
List 8
Sort : 1 Serial n
U
Sort : 1 Points
B
Print list 9
List 9
Input
Point rating, Selection
Output

1897
1971

Appendix III

Application form, translation of application form and directions

A.0.1 Läs noga igenom hela blanketten, innan den fylls i. Felaktigt eller ofullständigt ifylld blankett kan medföra att ansökan ej upptas till behandling. Ansökan skall undertecknas och vidimeras.

A.0.2
ANSÖKAN
Datum

Insänds senast 31 mars till Skolöverstyrelsen
L-avdelningen, Fack, STOCKHOLM 22

A.0.3 Inträde till förskoleseminarium

Ange turordning genom att numrera alternativen i härför avsedd ruta. Eventuellt ej acceptabla alternativ stryks.

BOrås		GÄvle		GÖteborg		JÖnköping		LUleå	
MAlmö		NOrrköping		STockholm		SÖdertälje		UMeå	
UPpsala		VÄsterås		ÖRebro					

A

Föd. år -mån -dag -nr *	Nationalitet 1 svensk 2 annan	Kryssmarkera om sökanden önskar komplettera ansökan
Efternamn	Tilltalsnamn och initialer	Riktnr — telefonnummer /
Bostadsadress	Postanstalt	Land (för utlandsbosatt)
Tillfällig sommaradress		Avser tiden (from—tom)
Postanstalt	Land	Riktnr — telefonnummer /

B

	Skolunderbyggnad (Använd den kod som finns angiven i anvisningarna)

B.1. Betygspoäng avseende ovan angivna skolunderbyggnad. (Om den sökande har avgångsbetyg från flera skolformer, anges poängen från det betyg som beräknas ge högsta poängsumma. Se vidare anvisningarna.)

Betygspoäng för andra skolformer än folkhögskola

Ämne	nr	Poäng	F	Ämne	nr	Poäng	F	Ämne	nr	Poäng	F
Kristendomskunskap	01			Historia m samhällslära	14			Gymnastik	27		
Svensk skrivning	02			Historia	15			Hemkunskap	28		
Svenska språket o. litt.	03			Samhällskunskap	16			Hushållsgöromål	29		
Engelska	04			Geografi	17			Barnavård	30		
Tyska	05			Matematik	18			Trädgårdsskötsel	31		
Tysk tilläggskurs	06			Biologi	19			Välskrivning, handstil	32		
Franska	07			Fysik	20				33		
Fransk tilläggskurs	08			Kemi	21				34		
Latin	09			Psykologi	22				35		
Grekiska	10			Teckning	23				36		
Ryska	11			Sång	24				37		
Spanska	12			Musik	25				38		
Filosofi	13			Slöjd	26				39		

B.2.

Poäng för omdömen från folkhögskola							
Humanistisk ämnesgrupp		Naturvetensk. ämnesgrupp					

SÖ L029 1. 1966.

*Enligt åldersbetyg.

78 Hemo W Tullbergs Blankettförlag/Esselte AB, Stkhm — FA

C.0. Kurser och praktik, som krävs för behörighet

Endast sådan praktik får anges, som påbörjats tidigast det år sökanden fyllt 16 år

Spädbarnsvård. (Med spädbarn avses barn, som är 0—12 månader.)
För behörighet fordras ett av följande 4 alternativ.

C 1	Genomgången kurs i spädbarnsvård om minst 16 veckor	☐ 1 Ja	☐ 2 Nej
2	4 månaders sammanhängande praktik i enskilt hem, annans eller eget, med barn, som ej uppnått 8 månaders ålder vid praktiktidens början.	☐ 1 Ja	☐ 2 Nej
3	4 månaders sammanhängande praktik i spädbarnshem med barn, som är 0—12 månader	☐ 1 Ja	☐ 2 Nej
4	4 månaders sammanhängande praktik i daghems spädbarns-avdelning med barn, som är 0—12 månader	☐ 1 Ja	☐ 2 Nej

D	Praktik minst 2 månader, utöver vad som eventuellt angivits vid C2, i enskilt hem, annans eller eget, med barn i förskoleåldern. (0—7 år)	☐ 1 Ja	☐ 2 Nej

E.0. 3 ½ månaders sammanhängande praktik under utbildad förskollärares ledning

För behörighet fordras ett av följande 5 alternativ. *

E 1	Lekskola (förskola, barnträdgård)	☐ 1 Ja	☐ 2 Nej
2	Daghem	☐ 1 Ja	☐ 2 Nej
3	Fritidshem	☐ 1 Ja	☐ 2 Nej
4	Annan barnavårdsanstalt (barnhem)	☐ 1 Ja	☐ 2 Nej
5	Annan institution för barn än barnavårdsanstalt, t ex vårdanstalt, institution för handikappade barn, barnsjukhus	☐ 1 Ja	☐ 2 Nej

F.0. Förkunskaper, som ger tilläggspoäng

Endast sådan praktik får anges, som påbörjats tidigast det år sökanden fyllt 16 år.

F	Praktik eller yrkesarbete, inkl. skötsel av eget hem. Tid som ovan redovisats, medtas ej. Ange antal perioder om 5 månaders sammanhängande praktik eller yrkesarbete. (Högst 4 perioder får anges.)	☐☐ Antal perioder	
G	Fackskola eller yrkesskola	☐☐ Antal terminer	
H	Gymnasium utöver ring I*	☐☐ Antal terminer	
I	3:e årskurs vid folkhögskola	☐ 2 Ja	☐ 0 Nej
K	Anställning eller praktik vid barnkoloni. Ange antal perioder om minst 2 månader. (Högst 4 perioder får anges.)	☐☐ Antal perioder	

L .....
Sökandens namnteckning

Att ovanstående överensstämmer med företedda originalhandlingar och av oss i övrigt kända förhållanden intygar

....

....

* Praktiken skall styrkas med intyg enligt fastställd blankett (SÖ L 010. 1. 1966)

Translation of the application form

The translation is not complete. The same letters and numbers are used as in the application form.

A.0.1. Read carefully through the whole form before filling it in. A wrongly or incompletely filled-in form may entail rejection of the application. The application shall be signed and attested.

A.0.2. APPLICATION
Date

To be sent in at the latest by 31st March to the National Board of Education, Teacher Training Division, Fack, Stockholm 22

A.0.3. Entry to Pre-Primary Teacher Training College

Indicate preference by numbering the seminars enumerated below in order of preference. Cross out unacceptable alternatives.

A. In A the applicant shall state his national registration number, which includes the date of birth, name, address etc. and if he wishes to supplement the application.

B. Schooling (Use the code stated in the directions).

B.1. Points in respect of aforesaid schooling. (If the applicant has leaving certificates from several schools, state the points from the certificate with the highest number of points. See also directions). In B.1. the points in the different subject are stated.

B.2. In the people's colleges marks are not given in the different subjects. The summarizing points are stated in B.2.

C.0. Courses and practical experience required for minimum qualifications

Practical experience will be considered only if started as earliest the year the applicant attains the age of 16 years.

Care of infants. (By infants is meant children up to 12 months of age).
Minimum of qualifications : one of following 4 alternatives.

C.1. Course in Infant Care of at least 16 weeks.

C.2. 4 months' continuous practical training in private home, other or own, with children under 8 months of age at start of period.

C.3. 4 months' continuous practical training in infants' home with children 0-12 months of age.

C.4. 4 months' continuous practical training in infants department of day nursery with children 0-12 months of age.

D. Practical training of at least 2 months, apart from that stated under C.2., in private home, other or own, with children of pre-school age (0-7 years)

E.0. 3 1/2 months' continuous practical training under guidance of trained pre-primary teacher. Minimum qualifications : one of following 5 alternatives.

E.1. Kindergarten.

E.2. Day nursery.

E.3. Leisure home.

E.4. Other child care institution (children's home)

E.5. Other institution for children than child care institution, e.g. nursing home, institution for handicapped children, children's hospital.

F.O. <u>Previous education or training for which supplementary points are counted</u>. Practical experience will be considered only if started as earliest the year the applicant attains the age of 16 years.

F. Practical training or work including care of own home. Periods reported above shall not be included. State number of periods of 5 months' continuous practical training or work. (Max. 4 periods to be stated).

G. "Fackskola" or vocational school

H. Gymnasium above grade 1 of the old 4 year gymnasium

I. 3rd year course at People's College

K. Employment or practical training at children's holiday camp. State number of periods of at least 2 months. (Max. 4 periods to be stated).

L. Applicant's signature.

<u>Directions</u>

All education, practical training or active work referred to in the application shall be verified by copies of certificates or testimonials attested by two persons. Photostatic copies to be attested in the same way. The applicant shall produce the original document on request.

The appendices to the application shall be marked in the top right-hand corner with the letter and, where applicable, the number corresponding to the alphabetical and numerical code on the application form for the particular education, practical training or active work. The appendices shall be arranged in that sequence. Example : Certificate of experience of infant care through 4 months practical training in private home to be marked C2; certificate of 3 1/2 months' practical training under guidance of pre-primary teacher in leisure home to be marked E3.

For supplementation of merits after 1st April which shall be in the hands of the National Board of Education at the latest by 15th June, the new application form shall be marked with serial number (notified by Board of Education), national registration number (date of birth and number on birth certificate), name and address. State in the position indicated for that purpose the particulars only of such merit or merits as the supplementation relates to.

<u>Schooling</u>

For indication of schooling under B on page 1 use the code numbers set out below.

<u>School</u>	<u>Code no.</u>
Comprehensive school 9a	01
" " 9g	02
" " 9h	03
" " 9m	04
" " 9s	05
" " 9t	06

Lower secondary school - practical lower secondary school - special lower secondary school, special practical lower secondary school-leaving certificate	07
Girl's School Certificate	08
Grade which allows transfer to grade 2 at the old four-year gymnasium	09
"Gymnasium" Certificate	10
2nd year course at People's College	11
Other schooling	20

Attendance at lower secondary school without attainment of Leaving certificate in accordance with Secondary School Statute to be reported as "Other Schooling" (code no. 20).

Points

If the applicant has leaving certificates from several schools, state the points from the certificate with the highest number of points. Note that marks stated under B shall be from one school only.

If a mark in a subject is obtained on transfer to the highest class or earlier, this shall be indicated by X in suqare "F" for that subject.

A subject not listed shall be stated on one of the vacant lines and the points reported.

Applicants with alphabetical grades shall convert these to numerical grades as tabulated below before inserting the points.

Laudatur	A = 6
Insigniori cum laude approbatur	a = 5
Cum laude approbatur	AB = 4
Non sine laude approbatur	Ba = 3
Approbatur	B = 2
Not fully satisfactory	BC = 1
Non approbatur	C = 0

For applicants with grades from a People's College use the line at the bottom of page 1. Convert the points as follows.

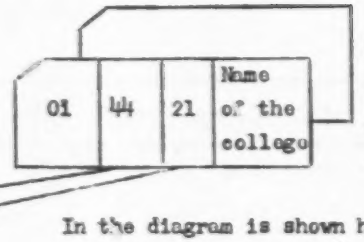
Excellent	= 4
Very good	= 3
Good	= 2
Unsatisfactory	= 1

Appendix IV

Graphical illustration of the selection principle

I First run. The processing of the SP-tape and the selection table

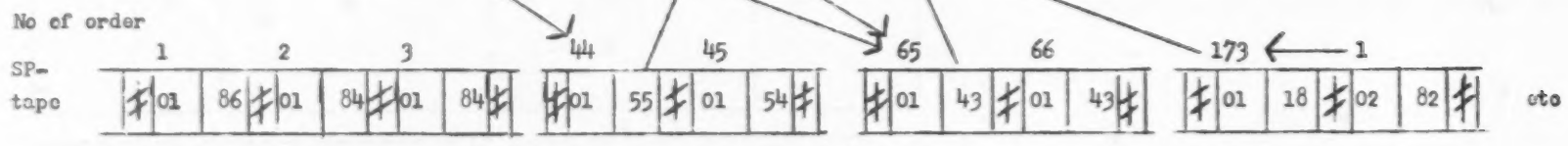
College no	Number of Applicants	Vacancies	Selected	Rejected	Reserves	Selected	Rejected	Min.points for Selected	Rejected
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
01	173	44			21			55	43
02		44			11				
etc.									



Cards for the selection table

The number of vacancies and reserves are transfered from the cards to the selection table.

In the diagram is shown how the minimum points are calculated for college nr 01. During this run the number of applicants to each college are put into the selection table.

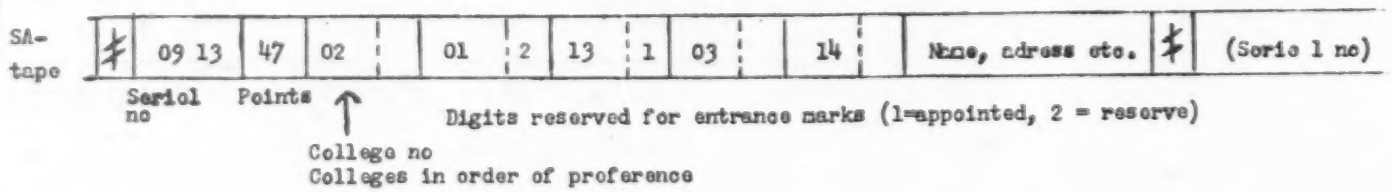


II First run. The processing of the SA-tape and the selection table

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
01	173					+1		55	43
02	159							53	48
03	119			+1				44	39
etc.									
13	125	40	16+1					42	38
14	180						+1	51	40

The computer examines the choices of each applicant having the minimum qualifications. The choices of each applicant are arranged in order of preference. For each choice of a college the points of the applicant are compared with the minimum points of the college.

The applicant on the SA-tape is not appointed to college no 02. He becames a reserve to college no 01 - the figure 2 is put on the SA-tape. The applicant is appointed to college no 13 - the value of one (1) is added to column G and the code 1 is put on the SA-tape. It is also controled that for this college the figure in column D does not exceed the figure in column C. The applicant is not appointed to college no 03 due to the fact that he already has been appointed to a college of higher preference - the value of one is for this reason added to column E. For the same reason the applicant does not becme a reserve to college no 14 - and the value of one is added to column H.



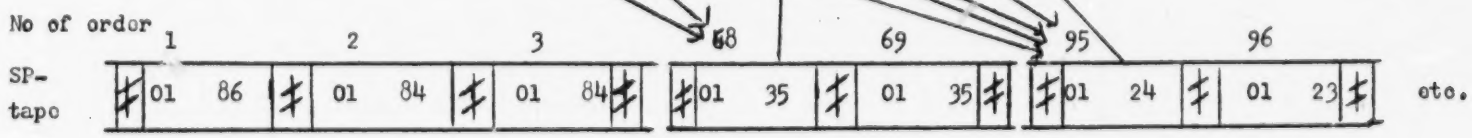
III The result of the first run

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
01	173	44	20	24	21	15	6	55	43
02	159	44	17	27	21	9	12	53	48
03	119	35	14	21	18	6	12	44	39
etc.									
13	125	40	19	21	20	11	9	42	38
14	180	40	31	9	20	5	15	51	40

The figures in column E represent the number of vacancies still to be filled. The figures in column H represent the number of reserves still to be selected. It is therefore necessary to reduce the minimum points.

IV Second run. The processing of SP-tape and the selection table

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
01	173	44	20	24	21	15	6	35	24
02									
etc.									



The second run starts with the processing of the SP-tape and the selection table. The minimum points of the second run (and the following runs) are calculated as shown in the figure (44+24=68 and 44+24+21+6=95)

V Second run. The SA-tape and the selection table is then processed together

TABLE OF ALL INFORMATION AVAILABLE ON FORMS, TAPES AND LISTS

(The figures in the table indicates from which column the information has been taken. X indicates that the information has not been taken from any of the other tapes and lists.)

	NUMBER OF DIGITS	INPUT MATERIAL					INTERMEDIATE TAPES				OUTPUT TAPES				INTERMEDIATE LISTS			OUTPUT LISTS					
		SELECTION TABLE CARD	APPLICATION FORM	PUNCHED CARDS FOR APPLICATION FORM	ADDITIONAL FORM	PUNCHED CARDS FOR ADDITIONAL FORM	S- AND SG-TAPE	A- AND SA-TAPE	P- AND SP-TAPE	U- AND SU-TAPE	D- AND SD-TAPE	R- AND SR-TAPE	E-TAPE	B-TAPE	LIST 1	LIST 2	LIST 3	LIST 4	LIST 5	LIST 6	LIST 7	LIST 8	LIST 9
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1. Serial number	4		(x)	2	14	4	3	6		7	9	9	9	9	3	6		9	12	11	10	9	9
2. Name	26		x	2	x	4	3	6		7	9	9	9	9	3	6	6	9	12	11	10	9	9
3. National registration number	9		x	2	x	4	3	6		7		9	9	9		6							
4. Year of birth (from nat. reg. number)	2										9								12	11			9
5. Citizenship	1		x	2			3	6		7	9	9	9	9		6	6		12				9
6. Address (incl. country)	49		x	2			3	6		7	9	9	9	9	3	6	6	9		11	10	9	
7. Telephone number	10		x	2			3	6		7	9	9	9	9		6	6				10		
8. Summer address (incl. country)	59		x	2			3	6		7		9	[illegible]	9	(3)	6							
9. Summer telephone number	10		x	2			3	6		7		9	9	9		6							
10. Period for summer address	6		x	2			3	6		7		9	9	9		6							
11. Applicant not having minimum qualifications	1		x	2	(x)	4	3/5	(6)		7		9	9	9	(x)	6	6						
12. Colleges applied for with numbers of prefer	56		x	2																			
13. Colleges in order of preference	42 [1]							6		7		9	9	9					12	11			
14. College (code)	2	x							6														
15. College (name)	10	x									x							x			x		
16. Code for previous training (B) [2]	2		x	2	(x)	(4)	3/5	6		7	9	9	9	9		6			12	11			
17. Examination results (B)	2x72 [3]		x		(x)	(4)	3/5																
18. Examination result points	2							x		7	x	9	9	9					12				
19. Practical training (C)	4		x	2	(x)	(4)	3/5	6		7		9	9	9		6	6						
20. Practical training (D)	1		x	2	(x)	(4)	3/5	6		7		9	9	9		6	6						
21. Practical training (E)	5		x	2	(x)	(4)	3/5	6		7		9	9	9		6	6						
22. Extra points (F-K)	5		x	2	x	(4)	3/5	6		7		9	9	9		6	6						
23. Extra points (total)	1							x		7	x	9	9	9					12	11			
24. Total points	2							x	6	7	9	9	9	9						11	10		
25. Capacity to be filled	3	x																					
26. Number of reserves wanted	3	x																					
POPULATIONS ON TAPES LISTS, ETC.																							
A. All applicants			x	x			x	x		x				x	x	x	x						
B. All choices of the applicants having minimum qualifications									x														
C. Applicants with minimum qualifications															(x)								x
D. Applicants not having minimum qualifications						(x)	(x)								(x)								
E. Admitted applicants											x							x			x		
F. Reserves												x								x			
G. Rejected applicants																						x	
H. Rejected highly qualified applicants													x					x					

1. 3 digits are reserved for each college on the tapes, of which 2 for the code of the college and 1 for an acceptance mark or a reserve mark. On the lists only 2 digits are reserved for the code of each college.
2. B-K refers to the application form.
3. Two sets of examination results can be handled in the computer system.

Appendix VI

Point Rating and Check of Minimum Qualifications

Check of minimum qualifications

An applicant not qualified on 15th June, but who has given evidence of the possibility of becoming qualified at the latest by 31st July, is treated as qualified but marked in a special way. A certificate concerning the completion of such practical training or education shall be submitted to the college in question at the latest by 6th August.

Qualification requirements

- Age : at least 19 years in 1966.
- Freedom from disease or physical defect (checked manually at follow-up of selected students)
- Swedish subject (foreign subjects are selected manually)
- Schooling in accordance with one of following alternatives :

  1. Leaving certificate from grade 9g, h, t, m or s of the new Comprehensive School.
  2. Leaving certificate from Lower Secondary School
  3. Girls' School Certificate
  4. Grade which allows transfer to the second grade of the old 4 year Gymnasium
  5. Leaving certificate from Class 9a of the trial form of the Comprehensive School if English has been studied in Classes 8 and 9
  6. Certificate from second-year course at People's College with report of the students' ability to benefit from the teaching
  7. Grade or certificate of at least equivalent education acquired by other means.

The supplementation of certificates in single subjects (special examination, supplementary examination) is governed by special rules. (These rules are excluded in this translation as they are very detailed).

- Training in infant care (by infants is meant children not more than 12 months of age) in accordance with one of the following alternatives.

  1. Course of at least 16 weeks in infant care
  2. 4 months' continuous practical training in private home, other or own, with infant less than 8 months of age at the start of the period.
  3. 4 months' continuous practical training in Infant Home with infants not more than 12 months of age.
  4. 4 months' continuous practical training in Infant Department of Day Nursery with infants not more than 12 months of age.

- 2 months' practical training in private home, other or own, with children of pre-school age (0-7 years) over and above qualification "Training in infant care".
- 3 1/2 months' continuous practical training under trained pre-primary teacher in charge of the work with children in one of the following institutions and who has considered the applicant suitable to start training as nursery-school teacher in accordance with Certificate SÖ L 010.12.1965 (checked manually in follow-up of selected students) :

1. Kindergarten
2. Day nursery
3. Leisure home
4. Other child welfare institution (children's home)
5. Other institution for children than child welfare institution, e.g. nursing home, institution for handicapped children, children's hospital.

For qualification the practical training must not be started before the year the applicant attains the age of 16 years.

Point rating

Points for school certificates and reports from People's Colleges are rated. This is done as follows.

The mean value for certificates in qualifying subjects is calculated on the scale A (Laudatur) = 6, a (Insigniori cum laude approbatur) = 5, AB (Cum laude approbatur) = 4, Ba (Non sine laude approbatur) = 3, B (Approbatur) = 2, BC (Not fully satisfactory) = 1, C (Non approbatur) = 0, the mean value then being multiplied by 10.

Points for reports on the student's ability to benefit from the teaching in the second - or third-year course at a People's College are rated on the scale Excellent = 4, Very good = 3, Good = 2, Unsatisfactory = 1, after which the points or, in the event of several reports, the mean points are multiplied by 10.

If the student has several qualifying certificates (reports) with a different number of points, the certificate with the highest number of points is accepted.

(Supplementary points for schooling over and above the qualification requirements are accepted irrespective thereof).

Supplementary points

At most 4 supplementary points can be obtained.

For merits over and above those used for evaluating an applicant's qualifications, supplementary points are allotted in accordance with the following alternatives, one supplementary point for each :

1. Each continuous period of 5 months in practical training or work, including care of one's own home
2. Every term at a gymnasium, fackskola, third-year course of a People's College, or vocational school
3. Every period of employment of practical training in children's holiday camp, comprising at least 2 months.

Non-qualified applicants to be ckecked manually

1. Applicants with 4 supplementary points who have 30 points or more on school certificate
2. Applicants with 40 points or more on school certificate
3. Applicants born 1936 and earlier
4. (Applicants reported by pre-primary teacher to be at present unsuited for training as nursery school teachers)

Qualified but unaccepted applicants

1. Applicants with gymnasium certificate,

RESUME

APPLICATION DE SYSTEMES EDP* CENTRALISES A L'ADMISSION DANS LES ETABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE ET SUPERIEUR SOUMIS AU "NUMERUS CLAUSUS"

I. Généralités

I-1. Raisons du numerus clausus

Un objectif important du système d'enseignement actuel de la Suède est d'accorder à chaque élève la liberté légitime de choisir l'enseignement qu'il désire recevoir, s'il a les qualifications et le niveau de connaissances nécessaires. Cependant l'entrée dans divers types d'enseignement secondaire et supérieur est actuellement sujette à des limitations pour les raisons suivantes :

Les ressources disponibles ne permettent pas toujours un taux d'expansion qui réponde pleinement à la demande d'enseignement. Ceci s'applique également aux branches de l'enseignement qui requièrent des ressources très importantes (1) et aux branches dont l'expansion (2) se répercuterait sur d'autres formes d'enseignement qu'il serait moins souhaitable de développer - en raison des ressources qu'elles nécessitent ou, par exemple, en raison du marché du travail.

La capacité (nombre de places disponibles) de nombreuses formes d'enseignement ne dépend pas, de façon absolue, de l'existence de moyens coûteux et de catégories de professeurs qu'il peut être difficile de recruter. La capacité de ces formes d'enseignement peut être augmentée en général assez rapidement, quelquefois en moins d'un an. Il faut cependant décider du nombre total de places vacantes avant que l'effectif définitif des candidats ne soit connu, de sorte que, même dans ce cas, il peut y avoir "numerus clausus".

Exemples : Quelques écoles normales et de nombreuses catégories d'écoles professionnelles.

Certains enseignements hautement spécialisés attirent plus de candidats qu'il n'y aura vraisemblablement d'emplois correspondants par la suite. La capacité est alors fondée approximativement sur les besoins escomptés du marché du travail.

Exemples : Ecoles d'agriculture, écoles forestières.

Même dans les cas où le choix des élèves détermine entièrement la capacité des différentes formes d'enseignement, il y a place pour une certaine adaptation aux besoins de main-d'oeuvre, puisque, en fait, les élèves peuvent être au courant de la situation escomptée du marché du travail, avant de choisir tel ou tel type d'enseignement.

---

(1) Exemple : Facultés de médecine.

(2) Exemple : Lycées

* Electronical Data Processing - Traitement électronique des données.

I-2. Avantages de procédures coordonnées d'admission

(a) Une procédure coordonnée d'admission permet une meilleure supervision et un meilleur contrôle de l'ensemble du système d'admission. Elle offre de meilleures possibilités d'ajuster la capacité des diverses écoles, universités, etc..., à l'effectif des candidats. On examinera sous I-6. les données statistiques qui peuvent être utilisées à cette fin.

(b) Lorsque plusieurs écoles, universités, etc. ont un grand nombre de candidats communs, il s'ensuit en génral que les meilleurs sujets recevront des offres de plusieurs établissements. Les désistements seront donc plus nombreux, ce qui accroîtra lourdement le travail des sélectionneurs. Il se peut, en définitive, que certaines des écoles (ou universités, etc.) n'aient pas assez de candidats, bien qu'il y en ait eu un nombre suffisant pour l'ensemble des établissements au moment de la clôture du dépôt des candidatures. Avec un système coordonné d'admission, chaque candidat ne reçoit en définitive qu'une seule offre; il est donc possible d'affecter immédiatement une plus forte proportion de la capacité totale. Les ressources, limitées, sont donc mieux utilisées et toute la procédure de sélection se trouve simplifiée.

(c) Avec les systèmes coordonnés d'admission, l'emploi des techniques modernes de traitement des données qui visent à la rationalisation des procédures d'admission devient plus rentable. Dans quelques rares cas, l'utilisation de ces techniques est une condition indispensable à l'application d'un système coordonné d'admission dans le contexte de règles compliquées de sélection.

(d) La sélection coordonnée simplifie, pour l'administration et pour les candidats eux-mêmes, les formalités nécessaires au dépôt des candidatures. Elle permet, en outre, une évaluation plus uniforme de la valeur des candidats.

I-3. Inconvénients des procédures coordonnées d'admission

(a) Un système coordonné d'admission accorde moins de place à un jugement personnel de chaque candidat. On peut remédier dans une large mesure à cet inconvénient en prenant des dispositions pour obtenir un jugement individuel et une évaluation de certaines qualifications (par exemple les diplômes accordés par d'autres pays) avant de procéder à la sélection définitive. Une fraction des places disponibles peut d'ailleurs être réservée pour des candidats qui ne possèdent pas les qualifications formelles requises.

(b) La sélection coordonnée implique qu'un grand nombre de données doivent être traitées en très peu de temps. Des circonstances imprévues peuvent retarder considérablement l'ensemble de la procédure.

(c) Les demandes d'admission sont très difficiles à remplir correctement. (Un candidat qui a remis un formulaire incomplet doit, d'après la loi suédoise, se voir offrir la possibilité de compléter sa demande).

(d) L'organisme qui est officiellement chargé des admissions n'obtient pas toujours aisément la supervision des détails techniques si importants dans le cadre du système EDP. (Ceci toutefois peut être réglé par voie législative ou réglementaire).

I-4. Quelques conditions pour réaliser des systèmes coordonnés d'admission en Suède

Par rapport à celui de bien d'autres pays, le système d'enseignement suédois a une structure assez homogène, ce qui permet un système d'évaluation objective et relativement uniforme des résultats scolaires des élèves. Tous les élèves des écoles polyvalentes ont suivi le même programme et sont classés sur la base de principes identiques; ceci s'applique également aux cées (gymnasiums) et aux collèges techniques. De même, les titres universitaires sont équivalents, même s'ils ont été obtenus dans des facultés différentes.

Cependant, de sérieux problèmes techniques se posent du fait qu'un même type d'enseignement peut exister sous la forme ancienne et sous une forme nouvelle, les deux n'étant pas toujours directement comparables; un système de quota doit donc être adopté.

Les établissements d'enseignement privés ne jouent en Suède qu'un rôle minime; aussi peut-on espérer parvenir assez facilement à un accord sur divers types de systèmes coordonnés d'admission.

Le système d'évaluation des résultats scolaires, établi de longue date, étant assez uniforme, la sélection des élèves et étudiants est, en général, fondée sur des qualifications formellement reconnues. Les tests psycho-techniques ou autres ne sont plus guère utilisés. En principe, toutefois, une série de tests d'application générale pourraient être intégrés dans un système coordonné d'admission.

L'uniformité du système d'enseignement suédois implique une certaine uniformité des méthodes de classement des candidats dans des types d'enseignement différents. L'administration a promulgué certaines règles générales, mais assez compliquées, pour certains secteurs du système d'éducation (Kompetenskungörelsen : Décret sur les qualifications). Pour les autres secteurs, il y a une certaine uniformité, dans la mesure où différents établissements d'enseignement ont adopté des réglements qui sont totalement ou partiellement identiques. Ceci facilite beaucoup l'introduction d'une sélection coordonnée.

Depuis longtemps déjà, chaque Suédois a un numéro national d'immatriculation (indiquant sa date de naissance) qui lui est attribué à diverses fins administratives et statistiques; chaque individu peut donc être facilement identifié dans le cadre d'une procédure coordonnée d'admission au moyen du système EDP.

Enfin, un système coordonné d'admission permet de faire connaître les principes de sélection et de publier les résultats. D'après la loi suédoise, une décision du Bureau de sélection peut, en principe, faire l'objet d'un appel (Voir également l'Appendix I).

I-5. Quelques principes importants des systèmes d'admission

Voici les principes les plus importants des systèmes coordonnés d'admission envisagés ou déjà utilisés :

(a) Chaque candidat peut présenter sa demande à plusieurs établissements d'enseignement (en fait, pour des raisons pratiques, le nombre de ses candidatures est souvent limité); il indique l'ordre de ses préférences.

(b) L'admission à l'un ou l'autre des établissements est soumise à des règles spécifiques concernant les exigences minimales et l'évaluation des qualifications.

Un candidat qui, en raison de ses qualifications, peut être admis dans plusieurs établissements, est retenu uniquement pour celui qui vient en tête de ses préférences. Le choix d'un candidat n'a donc d'importance que dans la mesure où il est qualifié pour être accepté par plusieurs établissements.

(c) La procédure de sélection comprend un certain nombre d'opérations :

i) vérification que les demandes de candidature sont complètes et raisonnables;

ii) vérification que les candidats ont les qualifications requises pour les établissements auxquels ils ont postulé;

iii) classement des candidats pour chacun des établissements;

iv) sélection des candidats, et établissement de la liste d'attente pour chacun des établissements.

v) notification des résultats de la sélection aux écoles et aux universités concernées, ainsi qu'aux candidats;

vi) après la sélection, répartition des sujets inscrits sur la liste d'attente pour combler les vides créés par les désistements.

I-6. Analyses statistiques

Les statistiques scolaires traditionnelles comprennent essentiellement des données de stocks : nombre des élèves, des classes, des professeurs, etc..., à un moment précis, mais on rassemble de plus en plus des données sur les flux : par exemple, le mouvement des élèves à l'intérieur du système entre deux dates déterminées. Cependant, aucune de ces statistiques ne répond à des questions telles que celles-ci : "Quelle est l'importance de la demande sociale d'enseignement normal ?" "Quels changements affectent la demande pour d'autres formes d'enseignement quand la capacité des instituts de technologie augmente de dix pour cent ?" "Combien d'élèves au total exigent un enseignement d'un niveau déterminé? " Pour pouvoir répondre à des questions de ce genre, il faut rassembler et analyser des D.I. sur les candidats admis à diverses formes d'enseignement. Les statistiques concernant le nombre des admis sont des données de flux.

Le Bureau Central de Statistiques rassemble depuis quelques années des données concernant tout élève qui pose sa candidature à un "gymnasium" ou une "fackskola". Chaque bureau de sélection doit remettre une copie de la première page du formulaire d'admission et, en automne, chaque "gymnasium" et "fackskola" est dans l'obligation d'envoyer une liste de tous les élèves de première année avec leur numéro d'identification. Ces statistiques sont ensuite analysées pour chaque gymnasium d'un district.

Cependant, les données sur les candidats, qui ont été obtenues à partir des statistiques candidats-admissions, ne sont pas représentatives de l'ensemble de la demande, puisque la majorité des individus qui, de toute évidence, n'ont pas les qualifications requises ne se présentent pas (1); elle représentent donc normalement des chiffres minimaux. Mais, d'autre part, il n'est pas impossible que certains candidats ne souhaitent pas en fait être acceptés, au cas où on leur ferait une offre. On a vu que, dans un système coordonné d'admission, toutes les données constituent une base favorable pour l'analyse statistique, non seulement du nombre des candidats et des admis, mais aussi de tous les détails concernant les qualifications des candidats et leurs préférences. Toutes ces informations sont nécessaires si l'on veut étudier exactement la demande qui s'adresse à diverses formes d'enseignement; c'est ce que montre l'exemple très simplifié que voici :

---

(1) Voir K. Wallberg et P.G. Cassel : "La demande d'enseignement secondaire du 2ème cycle (Gymnase) en Suède", OCDE, Novembre 1963 (miméographie).

Un exemple simplifié

Vingt individus ont posé leur candidature à trois types d'enseignement A, B et C, offant chacun cinq places disponibles. Les choix possibles, dans l'ordre des préférences, sont distribués comme suit :

Choix dans l'ordre des préférences (AB signifie que le premier choix d'un candidat est A et le second choix est B)	Nombre de candidats
A	1
AB	3
AC	-
ABC	2
ACB	2
B	-
BC	-
BA	5
BCA	4
BAC	3
C	-
CA	-
CB	-
CAB	-
CBA	-
Total	20

Il y a donc : 20 candidats pour A
19 candidats pour B
11 candidats pour C

Dans la mesure où un nombre suffisant de candidats remplissent les conditions minimales d'entrée, les cinq vacances de A et B devraient être remplies. Il n'est pas certain, par contre, que toutes les vacances de C puissent l'être.

L'ordre de priorités pour les trois types d'enseignement est donné par le tableau suivant :

Enseignement	A	B	C
Premier choix	8	12	-
Second choix	8	5	6
Troisième choix	4	2	5
Total	20	19	11

Ce tableau ne permet pas de savoir si toutes les vacances de la catégorie C seront ou non remplies, puisque ceci dépend également des qualifications de chaque candidat. Il peut arriver que tous les élèves acceptés pour A et B soient parmi les 11 élèves qui ont indiqué la catégorie C comme option possible. Si c'est le cas, il n'y aura donc plus qu'un seul candidat pour la catégorie C. Les tableaux n'indiquent pas non plus ce qui se passera si la capacité de C augmente tandis que celle des catégories A et B reste constante.

Cet exemple, extrêmement simplifié, montre que l'analyse complète de la demande d'enseignement requiert des données tant sur les qualifications que sur l'ordre de préférence de chacun des candidats.

Les données recueillies par l'administration se prêtent bien à un traitement statistique; elles sont souvent bien meilleures et en général beaucoup plus complètes que les informations statistiques rassemblées pour des buts spécifiques. Par exemple, les données servant de base à la sélection comprennent tous les renseignements qui étaient au dossier au moment de l'admission. Cependant, quelques changements peuvent évidemment se produire après que la première sélection a été faite; il se peut donc qu'il faille collecter des données supplémentaires après le début des cours, pour savoir quels sont les élèves admis qui se sont désistés et quels sont ceux qui ont obtenu les places devenues ainsi vacantes.

Il peut être intéressant d'utiliser les données disponibles pour analyser les points suivants :

(a) Distribution des candidatures entre les diverses options. Nombre des premiers choix, des seconds choix, etc. pour chacune des options.

(b) Nombre des admis qui ont obtenu leur premier, leur second choix, etc.

(c) Répartition des candidats par région d'origine (sans nul doute l'adresse est comprise dans les données du système EDP).

(d) Motivation. Combien de candidats choisissent en premier lieu parmi les possibilités près de leur résidence (ou, par exemple, dans une université déterminée) et combien postulent dans plusieurs écoles, universités, etc. pour une branche spécifique d'enseignement ? Une analyse de données de ce genre devrait fournir des renseignements intéressants sur les principes qui gouvernent les préférences pour une profession ou une branche d'études.

(e) Elle devrait en outre, et c'est là un des points les plus intéressants, permettre de savoir ce qu'il adviendra si un changement se produit dans la capacité des établissements ou dans les règles de sélection. Cette analyse implique que toutes les candidatures soient à nouveau étudiées, mais sur la base de nouvelles hypothèses. La procédure ordinaire de sélection est donc utilisée pour simulation et programmation par ordinateur. Le nouveau résultat est alors comparé au résultat obtenu au moyen de la sélection traditionnelle, par exemple à l'aide d'un tableau du type présenté ci-après. La simulation ne peut pas faire apparaître les répercussions exactes des changements intervenus dans les règlements, puisque ces changements ont vraisemblablement entraîné une modification du nombre des candidatures, etc. Toutefois, elle devrait fournir des renseignements intéressants sur les conséquences générales d'un changement particulier.

(f) Ces statistiques complètes candidatures-admissions, fournies par un système coordonné d'admission, permettent de se faire une idée extrêmement précise des flux d'effectifs à l'intérieur du système d'enseignement et de la demande totale d'éducation.

Puisque les statistiques suédoises D.I. sont fondées sur les numéros nationaux d'immatriculation, il serait également possible, grâce à un ordinateur, de suivre chacun des candidats au cours d'années différentes et peut-être à différents niveaux du système d'enseignement, et, plus tard, au travers du matériel statistique, de les rechercher dans les résultats des recensements afin de déterminer la profession qu'ils ont finalement choisie. On pourrait ainsi, à long terme, construire un modèle complet du système d'enseignement permettant de suivre tous les élèves au long de leur carrière scolaire et universitaire. Ce système pourrait également fournir des données sur l'effectif des individus qui, chaque année, passent du système d'enseignement au marché du travail (et vice-versa) ainsi que des informations complètes sur le résultat de leurs études. Toutefois, on n'a pas encore exploré les possibilités de mettre au point un programme aussi ambitieux de statistiques scolaires.

Tableau pouvant servir à montrer la différence entre les résultats obtenus par deux procédures différentes de sélection (A et B)

Résultats de la procédure de sélection A

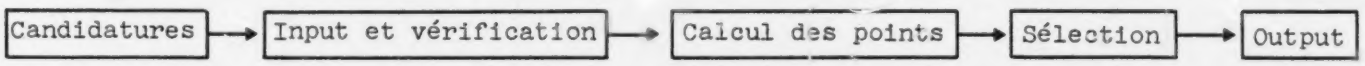
Candidats admis pour l'option	Candidats admis pour l'option I	II	III	IV	etc.	Candidats non acceptés
I						
II						
III						
IV						
etc.						
Candidats non acceptés						

II. Le système d'admission actuel et le système EDP envisagé

Cette partie donne des détails sur la procédure et les conditions d'admission dans les diverses catégories d'établissements d'enseignement suédois.

III. Description d'un système d'admission EDP

III-1. (B) Principe général d'un système d'admission EDP



Le système comporte les opérations suivantes :

(a) Chaque candidat remplit un seul formulaire (renseignements sur ses antécédents scolaires, etc.) en indiquant l'ordre de ses préférences, pour les différentes catégories visées par la demande.

(b) Input et vérification.

Les renseignements contenus dans le formulaire sont transcrits sur des cartes perforées qui passent ensuite au fichier central; on procède à une vérification systématique pour s'assurer que ces renseignements sont compatibles et que le candidat possède les qualifications minimales requises.

(c) Calcul des points. Sur la base des données du fichier central, l'ordinateur calcule les points que doit avoir un candidat pour être admis.

(d) Sélection. Compte tenu des préférences indiquées sur les formulaires et des points nécessaires, l'ordinateur choisit les candidats à admettre aux places vacantes.

(e) Output. La sélection une fois opérée, il reste à faire des listes et notifications diverses qui constituent le produit final de la procédure d'admission.

III-2. Cette section décrit dans le détail ces diverses phases de la procédure d'admission en prenant pour exemple l'accès aux écoles normales d'instituteurs pré-primaires en 1966. (Voir également Appendix II à VI).

III-3. Cette section indique notamment que la procédure de sélection exposée dans l'exemple précédent, qui est particulièrement simple, se trouvera compliquée, au niveau de l'enseignement secondaire et supérieur, par des problèmes concernant essentiellement la Suède.

RESEARCH AND MANAGEMENT ASPECTS OF TIME-TABLE AUTOMATION FOR SCHOOLS AND UNIVERSITIES

by J.S. Folkers

Summary

The purpose of this paper is to indicate the general aspects of time-table construction by means of a digital computer. The emphasis will be upon the implications of time-table automation for school and university management in general.

In the first section of the paper, a comprehensive description is given of the general time-table problem. In particular, the various requirements and conditions are presented in some detail, in view of their principal importance for both the didactic and managerial aspects of time-table practice.

The second section is concerned with the main questions of research and implementation. In the first place, the practical evaluation is discussed of manually constructed time-tables. In connection with this, a comparison is given of the time-table problems for secondary schools and universities.

Further, the general tendencies are indicated which seem to require time-table automation. This leads to the discussion of the purposes of investigation, stated for a research project of Delft University of Technology. This project includes a fundamental study of the problem, the analysis of computer implementation, and the corresponding practical questions of administration and management.

In section three, the design is presented of a general administration system for the preparation of time-table data for the actual construction procedure. Starting with a brief analysis of the information structure of the problem, the general questions of computer in- and output are discussed in some detail, being of practical importance for school management in general.

For systematic collection of information, punched cards will be used; for this purpose, identification codes are defined which may easily be checked by the computer. A more complicated procedure, requiring some fundamental research, checks the verbal input of time-table conditions, introduced to obtain an optimal adaptation to normal practice.

The conversion of these data, required for their use by the construction procedure, is discussed with a view to the efficient arrangement of information storage. This in turn will partly determine the principal structure of the construction procedure; this interaction is indicated in some detail.

Finally, the realization is illustrated of computer output of time-tables arranged for different purposes. A high-speed line-printer may be used for the reproduction of the results.

The fourth section deals with the general aspects of time-table construction methods. In the first place, a global analysis is given of the main principles characterizing the composition of time-tables by hand. This is illustrated by a general flow-chart, which also applies to the construction by a computer.

In fact, the heuristic nature of the manual procedure is also found in most of the computer methods hitherto proposed. The general aspects of these methods are discussed briefly; some extensions are indicated which are based upon the use of operations research principles.

The main conclusions with respect to the application of these construction methods are stated separately at the beginning of the paper, together with the conclusions on time-table automation in general.

Main conclusions

- the realization of the various kinds of time-table conditions is essential both from a didactical and a social point of view;
- the generalization of time-table conditions should be considered as one of the main objectives of automation research;
- it will be necessary to find general criteria for the evaluation of time-tables in general and for the relative importance of conditions in particular;
- for universities, the realization of time-table conditions based upon didactic considerations should be improved; this may imply limitation of the individual conditions stated by the professors;
- it may be doubted whether the automation of the time-table for a university can be realized without appropriate modification of its management structure;
- technically, the time-table problems of large secondary schools and universities are of the same size and structure;
- the need for time-table automation is primarily caused by the growth of the population, the extension of the school programmes, and the centralization of education in comprehensive schools;
- the importance should be stressed of the time-table for the realization of the school programme; the curriculum cannot be established without taking into account the practical restrictions of a feasible time-table;
- time-table investigation may provide valuable information on the actual need of accomodation, both for existing facilities and for future building programs;
- the composition of a time-table for a large educational institute is both a scientific and a managerial problem;
- the practical questions of time-table automation for school management are mainly connected with computer in- and output of data and results;
- the total execution time required for the construction of time-tables will be essential for computer application on a large scale;
- time-table automation should preferably be centralized for general application to several institutions;
- it will be necessary to extend either the school budget or the general education budget to meet the costs of time-table automation
- the general research on time-table automation may be considered to be in an advanced stage of experimental development.

I. The Time-Table Problem

I-1. Definitions

A school time-table is an array giving the assignment of definite time units and rooms to the lessons of the instruction programme.

A lesson is a meeting, for one time unit or hour, not yet specified, of a professor or teacher and one or more classes or groups of pupils or students, in some room, dedictated to a certain subject of the curriculum. Together, the teachers, groups, subjects, rooms and time units will be referred to as the elements of the time-table problem.

The curriculum is a complete programme of subjects to be given at the school or university concerned. In this programme, for every subject, the group or groups will be mentioned, which should follow that subject; the subset of subjects for any specific class or group will be called a course. The subjects from any course may be distinguished as obligatory or optional subjects; an option will be a subset of optional subjects from a course, from which the students following that course should make an individual choice.

In view of the different capacities of the rooms to be used, it will be necessary to give an estimation of the number of students to attend any subject.

Further, for any subject, the teacher or teachers will be indicated giving that subject; the curriculum will also present the number of lessons to be given in any subject, during the time-table cycle, or the total duration of these lessons in that interval, with its partition.

It may be efficient to introduce formal subjects. Lessons in these fictitious subjects may cover the time units needed for transit of groups and teachers, for preparation of rooms, and free hours. In this way it will be possible to incorporate the planning of these lessons in the composition of the time-table.

The time-table cycle is the time interval, consisting of a fixed number of days, for which the time-table will be repeated periodically. The time-table will be valid for a given period, e.g. a semester or a year; there may also be requirements relating the time-tables of consecutive periods, complicating their composition.

In principle, most subjects will be given in every cycle of the period, for which the time-table holds; there may also be part-time subjects, which are only given during a certain part of that period, or at every second repetition of the cycle.

Normally, the time-table cycle will be a week; however, extension may become necessary, if the number of subjects to be presented is too large. Further, the number of rooms may restrict the number of groups to be accomodated simultaneously; in that case, instruction must be given in shifts.

In most cases, the time units are of constant duration, which will be assumed in the following. This evidently facilitates the construction of the time-table; time-units can be numbered, and all lessons may start at periodically fixed moments. On the other hand, the case is known of a respectable university with lectures starting at almost every 5 minutes, with varying durations, to be measured in quarters of an hour. Obviously, this may cause considerable inefficiency, e.g. in the use of the accomodation.

I-2. Various forms of the problem

The set of problems associated with the preparation of a time-table should be distinguished as follows :

(a) In the first place, there will be the preliminary problem, often referred to as the student scheduling problem; this should not be confounded with the time-table problem in the proper sense, since it does not involve the assignment of time units.

Actually, it is one of the first problems in the field of school administration to be considered for computer application.

The question here is the composition of groups of students, taking into account their individual wishes with respect to the courses offered in a provisional curriculum. In other words, this question belongs to the preparation of the definitive curriculum as defined above, implying the determination of the groups and the corresponding students for any course to be actually presented.

(b) On the other hand, the proper time-table problem will always be concerned with the assignment of time-units to the lessons. In the simplest form of the problem, this will be the only question, since a given teacher and a particular room will have been assigned beforehand to any lesson of the curriculum.

(c) Further the problem may be extended, as will often be the case, by the requirement of room assignment. In this case, for every lesson, a subset of rooms will be indicated, from which a choice should be made for that lesson to be given in.

(d) Finally, the assignment of teachers may also be incorporated with the time-table problem. In that case, for every lesson, a category of teachers will be indicated, qualified for that lesson.

I-3. Requirements and Restrictions

The actual problem of the construction of a time-table is characterized by a large number of requirements, restrictions and conditions.

(a) In the first place, there will be the primary curriculum requirements, stating that all lessons indicated should be scheduled. Obviously, the lessons, considered as combinations of the various elements will be liable to absolute coincidence restrictions, in consequence of the indivisibility of the elements.

(b) Further, there will be a large number of special requirements and conditions, depending upon the kind of education concerned, but also on a certain "time-table tradition" of the corresponding institution. In fact, the curriculum may be extended by secondary requirements with regard to combination and subdivision of classes or groups for lessons in specific subjects. Again, there will be requirements of an organizational nature, e.g. with regard to the assignment of rooms with special facilities or different locations, or on account of capacity restrictions.

(c) Finally, the full complexity of the problem is caused in general by the existence of numerous conditions, based upon both didactic and individual considerations. These conditions are mainly concerned with the distribution of "duty" and "free" hours and days for teachers and groups. They may apply in general, or with respect to specific subjects, for any teacher or group, and also in relation to other teachers and groups.

In contrast with the absolute nature of the requirements mentioned above, these conditions will only have relative urgency, depending on various factors of a mainly subjective character. This again will add to the complexity of the problem : apart from its extension by these additional conditions,the latter must be handled in accordance with different weight factors to be assigned to them, which may be a problem on itself.

Whereas the realization of the absolute requirements is an evident necessity for any "feasible" time-table, it should be stressed from a practical point of view that the realization of the other conditions is necessary for a really "acceptable" time-table to be obtained.

In view of their principal importance for time-table practice, the various requirements and conditions will be presented in some detail. This will also be a first attempt at the generalization of these conditions, which is one of the main questions of time-table automation. In fact, both the input and the handling of these conditions and requirements by the construction procedure will be heavily dependent upon the abstraction of their structure.

In the results hitherto published on time-table research, this aspect is often ignored or only briefly mentioned, probably owing to its inherent difficulty. Correspondingly, in most cases, only a very restricted number of conditions is actually handled, in a mainly incidental way. This partly explains the special - purpose character of the greater part of the mthods existing at present.

I-4. Time-table conditions

The various requirements and restrictions, didactic and individual conditions, together will be referred to as time-table conditions. In fact, they will prove to have a very similar structure, though being of a highly varying importance.

These conditions will be related to the availability of teachers, groups, rooms and subjects, to the distribution of lessons and free hours for any day of the time-table cycle, to the succession of lessons and to their concurrence at specific or arbitrary hours or days. These conditions may be stated separately for subjects, groups and teachers; they will be discussed here together, however, because almost every specific condition may be stated individually, by any teacher, as well as didactically, with regard to a particular group or subject.

Moreover, the assignment of subjects to teachers and groups being known, these conditions may equally well be stated with respect to the corresponding lessons. The latter has been done in the following, giving a comprehensive set of time-table conditions, expressed in a general way, combining similar conditions in a single statement.

Explicit statement of interpretative details have been avoided, but the resulting set may be considered to contain almost every condition or requirement occurring in practice, of which some examples will be given. Many of the latter will be didactic or individual conditions; with a view to this, it should be emphasized again that any requirement may be stated in terms of the general conditions to be presented. This applies in particular to the absolute restrictions and requirements of the curriculum. Again, the relative importance of time-table conditions will not be considered at this point; as indicated previously, it forms a problem on itself.

It should be noted further, that some of the conditions may result from the original requirements as well as from the abstract formulation of the problem, i.e. as a consequence of the definition of formal subjects.

(a) As a first kind of time-table conditions specification may be given of the availability of teachers, groups, subjects and rooms, as a required or preferred presence or absence. These will be generally referred to as incidence conditions, giving a relation between a specific element and a subset of time units :

- for any lesson or subset of lessons, a preference or restriction may be stated with respect to specified days and hours.

For teachers, these conditions may be of a private nature, or follow from obligations elsewhere. Free hours, stated as formal subjects, may also be fixed in this way, or be required to be given at the beginning or the end of any day. Further, groups may be specified not to be present at certain hours or days as a consequence of fixed free hours, or in connection with shifts. Again, specific lessons may be fixed at or excluded for certain hours on account of their special nature, requiring particular rooms or facilities or demanding much attention from the students.

(b) A second kind of conditions will specify the distribution of lessons over the hours and days of the time-table cycle. These distributional conditions may apply to all lessons from a certain teacher, or for a particular group, or to those in subjects from a definite kind :

- a maximum, definite or minimum number of particular lessons may be stated to be given on a specific or arbitrary day;
- specific lessons may be required to be distributed over a maximum, definite or minimum number of given or arbitrary days.

In the definite sense, the first condition may apply to every subject, giving the partition of lessons as indicated by the curriculum. Further, these conditions may be stated in general, from a didactic point of view, or individually by a teacher, desiring concentration or spreading of all or part of his lessons. They may also apply to free and transit hours defined as formal subjects.

- a maximum, definite or minimum number may be stated of lessons, to be given at particular hours of given or arbitrary days.

For example, it may be didactically necessary to avoid in this way the repetition of lessons at the same unfavourable hour of different days, for any subject or subjects of a certain kind.

- a maximum, definite or minimum number may be specified of lessons to be given at the same definite or arbitrary hour.

This condition may be given to reserve one or more arbitrary teachers for supervision and replacement, or any organisational activity; it may also apply to the lessons of a limited number of teachers or in special rooms.

(c) A third kind of conditions will be concerned with the succession, and concurrence of lessons during the time-table or part of it. Again, they may apply to all lessons from a given teacher or for any group, or to those in subjects of a specific kind :

- there may be lessons required (not) to be given consecutively at any day or on certain days.

This condition may be stated to realize consecutive lessons in the same or different subjects for the same or different groups. In the first place, this applies to the partition requirements, given with the curriculum for any subject; further, this condition may be stated to avoid transit of teachers or groups, or for the repetition of a demonstration. Again, this condition may also apply to subjects requiring transit hours or reservation of rooms for preparation or rearrangement, before or after lessons in these subjects. In its negative form, the condition may hold with respect to lessons in subjects requiring much concentration from the pupils.

- a maximum, definite or minimum number of successive hours may be stated for particular lessons to be given at specific or arbitrary days.

With a maximum, this condition may again be stated for the subjects for any group, demanding much attention; with a minimum number, it may be used for preventing too frequent transit. In general, all lessons for a certain group or from a specific teacher may be required to be given at successive hours of any day, to avoid intermediate free hours.

- there may be lessons required (not) to be given on successive days, during the entire cycle or part of it.

In general, all lessons for a certain group or from any teacher may be required to be given on successive days, to avoid intermediate free days. In the negative sense, this condition may be stated to obtain spreading of the lessons in any subject.

(d) Finally, concurrence of lessons may be considered as a general form of succession, in the form of the following condition :

- specific lessons may be required (not) to be given concurrently, at the same hours, at specified different hours, or on the same given or arbitrary day, or on different days.

In the affirmative, this condition is very important for the statement of the curriculum requirements with respect to combination of groups for any specific subject at one and the same hour. It may also apply to the subjects of an option, to be given at a specified set of hours. In the negative sense, it may be stated to prevent scheduling of lessons at the same hours or days, e.g. for the dean and his substitute.

II. Premisses and purposes

II-1. The Quality of a time-table

In view of the discussion of the application of a digital computer to the construction of time-tables, some fundamental aspects of the problem should be mentioned first.

To begin with, it may be asked whether there will be any time-tables satisfying all the restrictions, requirements and conditions for any given case.

This theoretical question of the existence of such solutions may be stated, independent of the practical question how to construct these ideal time-tables.

Obviously, the main aspect of the problem is the second, that of the construction of a time-table; this also applies to the normal case that no ideal solution can be found or should exist at all. Then, instead of ideal solutions, practical time-tables should be prepared which satisfy the requirements and conditions "as far as possible".

This will be a rather undefined objective; hence, in both cases, a third aspect of the problem is given by the question of "relative rating" of time-tables, i.e. of the comparative evaluation of alternative solutions

If general criteria could be found for this evaluation, the fourth aspect of the problem would be the question of finding an optimal time-table. Evidently, by means of an appropriate procedure, the best ideal solution could be obtained, if the existence of such time-tables were established.

In the other case, it would be possible to define, in a more exact way, which of the practical alternatives obtained should be actually considered as the optimal approximation of an ideal time-table under the restrictions presented.

In practice, it is normally assumed in advance, that the requirements and conditions cannot be fully satisfied, thus excluding the possibility of an ideal solution. This actually implies that the "manual" construction of the time-table is characterized by many incidental compromises and ad hoc modifications of the original requirements.

The corresponding decisions are mostly based upon imponderables, since the investigation of possible "local" alternatives would require too much time and concentration, if it could be realized at all. Hence, the readiness to accept a compromise is augmented by the necessity to obtain, with reasonable effort, a time-table which may be used in practice.

Of course, the result will only be a partial and subjective approximation of the original intention, since various conditions have been modified or disregarded. This will lead to a very divergent appreciation of the time-table by its various users. In particular, if certain conditions are complied with in a less satisfactory way, the question will arise whether a better solution could be found taking these conditions fully into account. The complaint may be accompanied by suggestions for a "local" alternative, giving a better approximation of the specific requirements.

More often than not, it will turn out that this "better" solution could not be obtained without negatively affecting the measure of realization of other conditions.

Thus, as a more practical approach, it will be necessary to define generally accepted criteria, both for the compromise policy during construction, and for comparison of alternative solutions, as stated before. This would give a more objective procedure of time-table composition and a method for evaluation, leading to the choice of a time-table, which may be accepted by all users as globally satisfying their requirements and conditions in the best possible way.

II-2. Comparison of school and university time-tables

To determine the scope of the present considerations, it will be necessary to analyse the measure of correspondence between the time-table problems of different educational institutions.

In the first place, elementary schools may generally present a time-table problem of the simplest kind, with one particular teacher and a fixed room for almost all lessons for a given class. If not, the structure of the problem will be very similar to that for the secondary school with different teachers for different lessons for the same class, with a fixed room either for the lessons of one and the same teacher, or for those for the same class.

Again for the secondary school as well as for the university, the problem will be extended by the combination and subdivision of classes or groups, by the introduction of optional subjects, and by the use of a more differentiated accomodation. Evidently, the corresponding number of time-table conditions will also increase considerably.

This form of the time-table problem will be the subject of further investigation; in particular, the difference between problems for secondary schools and universities will be discussed in more detail.

Finally, it should be mentioned that a certain class of industrial planning problems has almost the same structure as the time-table problem defined above, but these will not be discussed in this context.

To give a more detailed comparison of the problems for secondary schools and universities, it should be noted first, that the total number of lessons to be given during a cycle is an objective measure for the size of any particular time-table problem. In this way, a global comparison is possible of problems for educational institutions of any kind.

As a general example, a large, 5-year secondary school with 1,000 to 1,500 pupils, say, will have some 50 classes, each attending 40 lessons in a week. Hence, including options, there will be about 2,000 lessons in total, to be given by some 80 teachers, each with a mean number of 25 lessons a week.

On the other hand, a university with 10,000 students, having 20 sub-faculties, each requiring 5 years of study, will present 100 different courses, each containing some 20 lectures in a week. Again, there will be about 2,000 lectures in total, to be given by some 200 professors, each with a mean number of 10 lectures a week.

In general, the structural difference between time-table problems of schools and universities is not so evident as should be expected at a first glance. In fact, sizes are of the same order, and the various requirements and conditions, though diverging on secondary aspects, may be equally numerous, and of the same fundamental structure. However, in most cases, there will be a principal difference in the treatment of these requirements and conditions.

In secondary schools, didactic considerations will generally prevail; for universities, the individual conditions of the staff will be predominant. Of course, this may be partly explained by the fact illustrated above, that the number of professors of a university will be considerably larger than that of the teachers of a school, with equal sizes for the corresponding time-tables.

However, the main reason will be given by the difference in the organizational structure of both kinds of institutions. Generally speaking, a secondary school will have a more centralized authority for the judgment of the relative importance of didactic requirements and individual conditions than that of a university senate, consisting of the members of more or less autonomous faculties.

It should be stressed at this point that owing to this difference in management structure, the composition of a feasible university time-table may be much more difficult than that for a secondary school, notwithstanding the comparability of both time-tables from a technical point of view.

It is also evident, that these organizational difficulties will be a particular drawback for the efficient introduction of computer applications for this purpose. In fact, it may even be doubted whether it will be possible at all to realize the automation of the construction of a time-table for certain universities without some appropriate changes in their management structure.

II-3. Premisses for automation

During the last ten years, there has been considerable research on the use of digital computers for the construction of time-tables. Apart from scientific interests, this seems to be largely motivated by practical considerations, which will be analysed in some detail.

In fact, the size and complexity of time-table problems in secondary schools and universities rapidly increases on account of the following tendencies :

- an increasing percentage of the increasing population, taking part in secondary and academic education, causing a considerable rise of the mean number of pupils, especially for secondary schools;
- the extension of school programmes and university curricula in view of diversification and specialization;
- the tendency of concentration of these facilities, resulting from a relative growth of the number of very large schools.

The practical consequences of these tendencies may be distinguished as follows :

- the increased variety of courses offered, with many options to be chosen, leads to a larger number of smaller groups, each having lessons in various combinations with other groups at one time, and separate lessons at another;
- correspondingly, schools will have an increased number of teachers; many of these will be highly specialized on one side, or only partly qualified on the other side due to shortage of qualified teachers;
- as a result, a large number of teachers will give a relatively small number of lessons; they will have a limited availability on account of other commitments, which may even cause interrelation of time-tables of different schools, sharing specialized teachers;
- further, these part-time teachers or professors will have a relatively large number of individual conditions, which may often be predominant;
- as another consequence, there is a rapidly increasing need for accomodation, resulting in a very intensive use of existing rooms, in particular of the largest ones;
- this may lead to the use of annexes, with inefficient transits causing interruption of the instruction, or to the introduction of a shift system for the classes, extending the number of hours of the time-table day;
- again, this may also result in the extension of the time-table cycle; this may also follow from the requirements in consequence of the increase of the number of lessons for any group, owing to the realization of options.

Thus concluding, owing to increased size and complexity on one hand, it will become more and more difficult to construct a time-table by hand, which will give a reasonable approximation of the various requirements. It should be noted as a secondary point of some social importance, that the work involved often will be performed voluntarily by one of the principal teachers, which may even take one or more weeks of his summer holidays.

On the other hand, the importance should be emphasized of the time-table for the optimal realization of any curriculum. More often than not, even with the modern comprehensive programme design, the curriculum is established without even taking into account the technical possibilities of realizing the programme within the practical limits of a feasible time-table.

II-4. General purposes of investigation

In the following, an outline will be given of the purposes of investigation of the time-table problem at Delft University of Technology. However, this may be considered to contain the essential aspects of the general problem; in particular, the special aspects of the problem for secondary schools have been incorporated with the general project.

As a first objective, it should be analysed whether the growing organizational and administrative activities with regard to the university time-table could be performed partially or entirely by means of a digital computer.

The main purpose of the project is to construct a time-table giving a better approximation of the various requirements than that which appears to be obtainable by hand.

In fact, by systematic analysis of all data and their consequences, and by investigation of alternative solutions, it should be possible to avoid the incidental compromises characterizing the manually constructed time-table.

On the other hand, general comprimises will remain necessary for obtaining practical solutions, since ideal time-tables will probably not exist. But these compromises could be realized systematically by objective comparison of all relevant factors. Thus, using a generally accepted rating system, an optimal solution could be obtained which any individual user might be convinced of to yield the best approximation of all requirements and conditions.

However, if no formal way of comparison could be agreed upon, the computer procedure should allow the composition of a number of alternative solutions, from which a choice could be made satisfying the majority of users.

Apart from this aspect, the construction of alternative time-tables may be of general importance for the presentation of replacement schedules for temporary changes of any incidental or periodic nature.

Further, it would be very desirable to have the computer programme produce a <u>protocol</u> accompanying the time-tables constructed, giving information about the reasons for not satisfying any requirement or condition.

Finally, the methods to be developed should be directed in first instance to the composition of the time-table for the University of Delft. However, as a consideration of principal interest, the design of these methods should be generalized as far as possible to allow the construction of time-tables for other universities as well as for secondary schools. Obviously, in first instance, this will imply the generalization of the various time-table conditions, as indicated previously.

More concretely, the following practical improvements should be pursued :

- the general assignment of lessons should be improved, in particular for lessons in optional subjects for any given groups, now often coinciding with one another, or even with lessons in compulsory subjects for the same groups.

As indicated before, it may be necessary to adapt certain aspects of formal curriculum design of the various faculties to the technical restrictions of the time-table. This applies in particular to the inter-departmental subjects of an optional nature which might seem to require more coordination of the faculties. Obviously, this is not a technical question, but a management problem.

- the realization should be improved of the conditions of any individual teacher, as well as the treatment of conflicting interests of different professors;

Evidently, this again will be a problem of school management, requiring the regulation of teachers' conditions, and the assignment of priorities.

- more attention should be paid to didactic considerations with regard to the distribution of lessons for one and the same group; these lessons should be consecutive at any given day;

There should be a certain variation in the nature of consecutive lessons for any group, and the number of group transits from one building to the other should be restricted, also with a view to traffic obstructions.

In general, the efficiency of the daily programme for the individual student should be improved. In fact, the positive influence of a more rational time-table upon the general efficiency of higher education should not be under-estimated.

- apart from the scheduling of regular lectures, that of exercises and practical work in laboratories should be incorporated in the construction of the general university time-table, which would seem to be impossible with its manual composition.

Obviously, these aspects also imply questions of management, requiring faculty co-ordination, and possibly, a change of policy with regard to the treatment of teachers' conditions, which too often take precedence of the general didactic considerations.

- the assignment of rooms should be directed towards a more efficient use of the existing accommodation;

in principle, the largest number of rooms to be occupied for any hour of the time-table cycle should be minimized, to get reliable information with regard to the actual need of accomodation at present, and for future expansion.

In fact, an investigation of this kind would provide valuable data for the number and optimal sizes of rooms for any building programme, given a certain structure of the curriculum, and the expected numbers of students for the various courses to be offered in the future.

Again, this demonstrates the central importance of the time-table for school and university management in general.

II-5. Research aspects

Apart from the principal purposes just mentioned, being of a general didactic and organizational character, the investigation of the time-table problem is also motivated by a number of research aspects of both theoretical and practical nature.

In this first place, there are some questions of general scientific interest with regard to the construction of a time-table, which may be indicated as follows :

- as yet, there is no exact procedure for the solution of this kind of problem; it may be asked whether a problem of this size and complexity will permit a convergent algorithmic approach.

In particular, this again gives rise to the questions stated before with regard to the existence and evaluation of solutions. It should be analysed, whether the existing methods of Operations Research could be used or extended for the solution of the time-table problem in its simple and more complicated forms.

- for the practical construction of time-tables by means of a digital computer, the development of heuristic methods will be the first objective.

This obviously could be based upon a simulation of the manual procedure of time-table composition, which should be analysed for that purpose. On the other hand, there is no indication that an efficient computer method should necessarily have the same heuristic structure.

In any case, i.e. for the development of both algorithmic and heuristic methods, the size of the problem will give rise to questions of computer implementation. These questions will be closely connnected with the second general aspect of the investigation :

- apart from the development of time-table construction procedures, the design will be required of a general administration system for processing the corresponding information.

Evidently, there will be a very large number of data, originating from a large number of informants. Hence, the system should comprise the collection of these data and their preparation for computer input, as well as the output and distribution of the various time-table selections in printed form.

Again, this system should also include computer procedures for checking and correction of the input data, and for their conversion and condensation. In fact, since the time required for the execution of the actual construction procedure probably will be quite considerable, it is of the utmost importance to feed this procedure with correct data, efficiently stored for optimal access.

Obviously, the preceding considerations will largely determine the way of collection and coding of data; on the other hand, this should be adapted to the existing practice as far as possible. This may give rise to questions of an organizational and even psychological nature, again forming a problem of school management.

These aspects clearly show again that the composition of a time-table for a large educational institute is both a scientific and a managerial problem.

III. COMPUTER IN-AND OUTPUT

III-1. The information structure of the problem

The practical questions of time-table automation, which are of direct importance for school management in general, will be almost exclusively connected with the administration system, to be designed for the preparation of data for the actual construction procedure, and not with that procedure itself.

With a veiw to this, the main aspects of such a system will be discussed now in some detail, based upon the design of the in- and output system for the Delft research project. In fact, it was decided to start this project with the analysis and development of a general time-table administration system.

The main theoretical objective for this part of the investigation was the generalization of the problem structure. In the first place, this should yield a more abstract definition of the problem for the design of construction procedures; on the other hand, this generalization should also imply the extension of application possibilities, stated as a practical purpose of the project.

As a further consideration, the in- and output system to be designed should be independent of the actual construction procedure. Obviously, neither the problem structure, nor the practical restrictions of computer application will allow the full independence of the administration and construction procedures. On the other hand, this independence should be realized as far as possible, to enable the investigation of different construction procedures, using the same in- and output system.

Now, considering the information structure of the time-table problem, this obviously will be determined by the different kinds of elements, together with the various relations between these elements, which will now be analysed in some detail.

It should be noted first that the distinct kinds of elements do not have the same character; time units play a dominant and separate role, rooms may often be considered to be of secondary importance. Further, teachers and groups will be formally equivalent; in fact, they may be thought of as elements defining sections of subjects : the subjects to be given by a certain teacher, or for a specific group.

Again, the concept of a section may be extended to mean any subset of elements of a given kind, which may be defined in association with the conditions and restrictions of the time-table problem. Depending upon the aspect determining any section, it will be called a structural or a conditional section; this distinction will only have a practical meaning.

Thus, subject sections defined by a teacher or a group will be structural sections, since they follow from the curriculum. This also applies to the section, consisting of the groups attending any given subject, or to the section specifying the teachers qualified for that subject. On the other hand, the section of all rooms considered to be suitable for the lessons in a specific subject might be called a conditional section ; the same will hold for the subset of hours, for which any part-time teacher will be available, or also for the section of optional subjects to be scheduled for the same hour or subset of hours.

Evidently, the elements of a section will be related to one another, or to the defining element of the section. These relations may be of a very different nature; however, the abstract structure of any section will be the same. The general form of such a relation will consist of the identification codes of two elements, together with a special factor indicating the nature of the relation.

In general, the concept of a section of elements of the same kind proves to be fundamental for the abstraction of the problem structure, as well as for the generalization of the information system. In fact, it might be demonstrated that any of the requirements, restrictions and conditions defining the time-table problem, may be expressed in terms of relations between the elements of the problem.

III-2. General questions of in-and output

The process of data administration for the construction of time-tables by means of a computer may globally be divided into three phases, not considering the construction itself.

The first phase will be associated with the actual collection and input of the information; the second phase consists of the building up, by conversion of the information, of an internal administration system, to be used by the time-table construction procedure. A third phase will be given by the output of the results of this construction procedure, and the production and distribution of one or more printed forms of the finished time-table.

The essential questions with respect to the design of a data processing system of this kind will be the following :

- first, the systematical collection is required, from a large number of individual informants, of a large number of different small sets of data;
- secondly, for the identification of data, symbolic codes have to be introduced for the various elements, and their verbal description must be standardized for output purposes;
- again, as a third general question, the means should be provided for systematic checking and correction of the information collected, permitting the detection of coding errors and the absence of essential data, and the determination of ambiguity and inconsistency of individual conditions;
- in the fourth place, the form of the information as presented will be too redundant, for efficient use by the time-table construction procedure. This requires the condensation and conversion of the data into an internal representation meeting that purpose.

Further, it will be generally evident that there must be some mutual adaptation of the structural aspects of the chosen form of information storage and of the construction procedure, notwithstanding the requirement to separate these aspects as far as possible, stated as a general purpose.

Finally, it should be noted in general that the information to be collected and prepared will be of two essentially different kinds. On one side, there will be individual data and conditions exclusively associated with one single element; on the other side, as indicated before, there will be various kinds of relations between different elements.

This difference will prove to be of fundamental importance for the problem of efficient information storage, and correspondingly for the design of the construction procedure as well.

III-3. Collection of data by punched cards

As indicated before, time-table data will be collected in small sets of connected information; this applies in particular to the individual data for any element, and to the various time-table conditions. Moreover, the latter should partly be gathered from a large number of teachers.

For this purpose, it seems evident to use punched cards, containing related information with respect to any given element. By giving these cards different kinds of special lay-out designs, they may also be used as data collection forms, to be completed by the school administration, or by individual teachers.

In this way, these cards may serve both for computer input and for external file use. With regard to the latter aspect, there will be a large number of data which do not change very frequently; on the other hand, the introduction of corrections and mutations will be very easy. Further, it may often be desirable to have a visual check of the conditions originally stated by an individual teacher having complaints with respect to the finished time-table.

Evidently, the design of these time-table cards will be closely related to the general input questions mentioned, which still have to be discussed in more detail. At this point, a global idea will be given of the set of card types designed for the Delft project.

In total, 64 types of cards will be distinguished, but this subdivision is primarily for internal use by the school administration and for computer distinction. In fact, there are only 6 different forms of lay-out, of which only 4 actually will be used for data collection. These card types and lay-outs may be characterized as follows :

I 4 types of administration tabs (not to be used for data collection);

II 5 types of identification cards (one for each kind of element : teacher, group, subject, room and formal element);

III 5 types of cards for incidence conditions (one for each kind of element);

IV 10 types of cards for distributional conditions (two for each kind of element; days and weeks);

V 36 types of relation cards (16 for structural, 20 for conditional relations);

VI 4 types of programme delimiters (not to be used for data collection).

The general column assignment is the same for all card types : columns 1-8 will contain the principal or defining element, card type and order per element; columns 9-72 are intended for actual data, and columns 73-80 will be prepunched, giving general project and card identification.

Finally, it should be noted that the separate card forms to be used for distributional and incidence conditions have been introduced mainly to obtain a better adaptation to existing time-table practice.

In fact, it would lead to unnecessary complications for the input of these conditions, if they were stated in the general form of a relation between elements, as indicated in ths discussion of the information structure of the problem. Theoretically, two kinds of cards would have been sufficient, i.e., the identification card for the individual data of any element, and the relation card for all kinds of structural and conditional relations between the time-table elements.

With the extended set of card forms actually introduced, the relation cards will only be used for the administration of structural relations, and for that of conditions of a more complex nature, such as succession and concurrence conditions.

On the other hand, it will be evident that the more practical form of input, chosen for the distributional and incidence conditions may require a more extensive computer procedure for the conversion of these conditions into an abstract form suitable for internal use by the time-table construction programme.

III-4. The coding of time-table data

The nature of the automation of a large project such as time-table composition implies full precision of the formulation of all problem data, and a maximal accuracy for computer input of these data.

Moreover, information has to be more complete than will be normally required for manual construction of the time-table, where many data will not even be recorded. Thus, apart from all evident facts, restrictions, requirements and conditions to be given, it may be necessary to explicitly state any tacit agreements, considerations, criteria and imponderables characterizing manual composition. Further, it will be desirable for checking purposes, to present equivalent information in different arrangement, or by duplication.

Now, obviously, for any kind of information, a unique form of input has to be established, which will be called the code for that information. Considering this coding of information, it will not be difficult to standardize the codes of data already having a symbolic form in normal practice. An example of this kind will be given for the identification of the time-table elements.

On the other hand, there will be much information of a verbal character, e.g., any didactic or individual condition, which may presently be stated in various more or less equivalent terms. Evidently, it will be much more difficult to obtain a generally acceptable standard form of input for information of this kind. It would carry too far to give an illustration of the approach chosen for this particular problem.

In general, the following indications may be stated with respect to the design of efficient codes.

- in the first place, input codes should be adapted as far as possible to the existing time-table tradition and practice, to avoid unnecessary confusion;
- further, codes should not easily give rise to errors, both on completing of forms and punching of cards; for this purpose, coding should be systematic, if possible mnemotechnical, and no symbols should be used being almost identical;
- codes should permit extensive checking, by the computer, both of their syntactic forms and of their semantic content; this requires a systematic variation of symbols used and a certain redundancy of the information carried;
- codes should have a computer representation, corresponding as far as possible to the internal form required for further processing, thus reducing the need for conversion of the information.

As an example, a three-symbol code is presented here for the identification of time-table elements. These details will be needed again for the discussion of computer output of time-tables.

As may be seen, a systematic variation of letters (L) and figures (F) permits a syntax check : in this way, it is possible to detect the use of incorrect codes for any kind of element.

Elements		Code	Explanation
	teachers	LLL	Name abbreviation
subjects	lectures	LFF	L = discipline letter; FF= subject number.
	exercises	FFL	
	classes or groups	LFL	L = faculty; F = year; L = subdivision letter.
	rooms	FFF	F = building or complex; F = capacity or facility category; F = room number.
	time units	FLF	F = semester and frequency; L = day (specific, any, next); F = specific hour; L = part of day (A.M., P.M., any, next).
		FLL	
	formal elements	LLF	any section of elements or formal element for construction procedure

The special codes introduced for time units should be mentioned, which permit a very flexible reference, e.g. to a specific hour of an arbitrary day of the week for a given semester, but also to the day next to that for which actual planning of a given lesson is investigated. These special references follow logically from the generalization of time-table conditions as discussed before.

A second special feature is the introduction of formal elements, which is also connected with the systematical input of complex conditions. For example, a set of optional subjects which is required to be given at specified time units may be considered as a formal element defining the section containing these time units.

As an illustration of the internal use of codes, it may be noted that the binary representation of the code of any element as defined above will be used as the direct address of the computer store unit containing the number assigned to that element for internal reference. This number may be chosen to preserve an indication of the kind of element concerned.

Another aspect of the coding problem is the need of verbal standardization, e.g. of teachers' names and subject descriptions for output purposes. Such a standard printing description will consist of 16 letter symbols, to be indicated on the identification card for the element specified. This card also defines the corresponding element code; apart from that, it will contain the various individual data for that element.

III-5. Interaction of information storage, design and construction procedure

The further measures to be taken for systematical checking and conversion of the information will not be discussed here. Instead, the general aspects are briefly indicated of the interaction between the design of the internal system for the administration of time-table data, and that of the actual construction procedure. This will give an idea of the restrictions mentioned before with regard to a possible independence of these main programmes.

In spite of data condensation, it will not be generally possible to place the complete information in the internal store of the computer; it will be necessary to use tapes.

Evidently, with a view to the limitation of the execution time required for the construction procedure, it will be very important to realize efficient tape handling. This requires an optimal distribution of information with respect to internal and tape storage, which clearly shows the dependency of the construction procedure upon the design of the administration system.

Now, with regard to this problem, it should be noted that information will principally be either of constant or of variable length. More concretely, the individual data and conditions stated for any element will require a constant number of information units; on the other hand, the structural and conditional relations will be represented by sections, consisting of a variable number of elements, requiring a variable number of information units. This distinction suggests the following design of final information storage.

Tape storage will be chosen for the data and conditions exclusively pertaining to one specific element. These sets of data will be stored in tape blocks of constant size, which may depend upon the kind of element concerned. Further, the internal element number assigned by the conversion procedure may be used as a direct address for the block corresponding to that element, giving systematical tape reference, since block lengths will be known. In fact, as mentioned before, the element number will contain an indication of the kind of element in question.

On the other hand, in the time-table construction procedure, whatever its structure, reference to and updating of information will occur with respect to all elements. Now, efficient use of the tape arrangement given above will require consecutive reference in positive tape order; this obviously forms a severe restriction for the design of the construction procedure.

Further, it will be evident that the planning of any lesson during the execution of the construction procedure will imply mutations for various elements, in consequence of the element relations. In fact, for any element corresponding to that lesson, every section containing that element should be considered with respect to the consequences of that particular planning. This will cause "random" reference to all elements of these sections; obviously, it would strongly interfere with efficient tape handling, if the element sections were also stored on tape, both on account of unpredictable reference, and in view of their different lengths.

Hence, it is evident that internal storage should be chosen for this relation system. Further, to obtain a system of minimal size with optimal access facilities, taking into account the variable number of storage units required for the sections, the element numbers involved will be arranged according to the principle of a threaded list.

Thus, together with every element number, the address is given of the storage unit containing the next element of the section in question. The last element of a section will refer to the first one; as a result, reference to any element will yield the entire section.

Again, the references for any element will be sorted consecutively; the first unit, of this series contains the element number, and its address will be included in the tape

block of individual data for that element. In this way, the connection of tape and internal storage is established for every element.

Finally, it will be evident that the storage arrangements just proposed will partly determine the principal flow of the time-table construction procedure. In fact, on scheduling any lesson during this procedure, the consequences of planning will be recorded temporarily in the computer store for all sections involved. Then, updating of all corresponding elements will be realized, for one such planning at a time, in one single run of the storage tape.

Further, it will be very desirable to include the evaluation of the lesson to be planned next in the same tape run, but this question evidently belongs to the actual design of the construction procedure, yet to be discussed.

Although of a rather technical nature, the considerations just presented are believed to give a general impression of the implications of computer application to the problem of time-table composition. In particular, a global idea may be obtained in this way of the size of the computer installation actually required for this problem.

III-6. Computer output of time-tables

In general, the application of a computer to the construction of time-tables will permit different presentations of the results, as arranged with respect to various practical aspects. Thus, by means of sorting procedures, partial time-tables may be produced for any of the teachers, groups and rooms involved; again, general survey tables may be printed in condensed or extended form, with or without explanations. In the same way, any incidental changes or corrections may be realized very easily.

Further, it will be possible to reproduce any required number of these various time-table forms at any time. Obviously, this could also be realized in another way, e.g. by off-set or by type-setting. In the latter case, however, apart from economic considerations, the fundamental advantages of direct computer output would be lost, i.e., the absence of printing errors, and the easy way of introducing mutations.

For the Delft University project, the production of time-tables will be entirely realized by means of a high-speed line-printer; preprinted forms may be used, but this will not be essential. Obviously, the corresponding typographical facilities are very restricted, both with regard to the number of symbols and to the lay-out of the time-table forms to be used. In fact, this will generally be the main disadvantage of direct computer printing as compared with normal type-setting.

It may be evident that these output restrictions have been essential for the determination of the identification codes mentioned earlier, in particular for the standardization of verbal descriptions to a maximum of 16 letter symbols.

To give an idea of the presentation of the output, it should be noted first that the internal planning representation for any lesson will be given by 16 symbols as follows :

A52-SBN-A4Z-233-KAD2

The four symbol triads represent the corresponding subject, teacher, group and room, respectively; the last four symbols consist of a letter indicating the nature of the subject, and the time code triad. Now, on sorting for a specific element, its code will be replaced by spaces, yielding a direct, compact printing format for any such element :

TIMETABLE 1967/8
FOR TEACHER SBN

```
SBJ  GRP   RM    HR
A52  A4Z  233  K4D2
```

This element time-table may be extended with teachers' name, subject description and explanatory notes (not shown) :

```
TIMETABLE 1967/8 TECHN UNIV DELFT
FOR TEACHER SBN J. SIEBEN

APPL STATISTICS A52 A4Z 233 K4D2
```

On the other hand, apart from these individual time-tables, a more general form will be produced, having the following standard component, with space for two optional subjects for any hour :

```
THURSD 0930-1030

A52  K  APPL STATISTICS
233  4  J SIEBEN

C60  M  REPRES THEORY
210  1  F LOONSTRA
```

A 120-symbol lineprinter permits the row presentation of 5 such components, corresponding to 5 consecutive morning or afternoon hours. Further, paper dimensions will allow the printing of 11 such rows for one sheet, which is sufficient to present the time-table for a normal week. Finally, in the margin, space may be found for indication of days and explanatory notes.

IV. TIME-TABLE CONSTRUCTION METHODS

IV-1. Principles of manual construction

As stated before, almost all methods hitherto published for construction of time-tables by means of a digital computer are of a heuristic nature. Moreover, many of these methods are based to a considerable extent upon the general characteristics of manual time-table composition.

Hence, before presenting a brief survey of the main developments in automation research, a global analysis will be given of the common aspects of time-table composition by hand. In fact, this has been one of the research purposes of the Delft project, as indicated before; as may be seen, the following considerations will also illustrate the heuristic principle mentioned in that context.

The manual composition of a time-table may be considered as a (solitary) game, for which every move consists of the assignment of a definite time-unit, and possibly a specific room, to a given combination of a teacher, a subject and one or more groups of students. Thus, in principle, the total number of moves of the game will be equal to the total number of lessons, defining the size of the problem.

Evidently, the various time-table conditions will form the rules of the game; within these rules, there is some freedom with regard to the choice of the next move.

Thus, apart from the rules of the game, there must be some line of action directing the sequence of moves; in fact, it is inconceivable that the consequences of all possible choices may be surveyed for any given situation of the game.

In principle, not much is known about the tactics of the player : what experience or intuition, and what power of combining are leading the time-table composer, preventing him from playing at random ?

In general, however, it may be stated that manual time-table construction will normally be based upon the principle of "largest resistance" : for every move, the most urgent assignment is chosen. In other words, that lesson will be scheduled, which runs the largest risk, in the given situation, of not being placed at all in a later stage of the game.

The most simple tactics are of a statical nature,: prior to the actual game, a scheduling sequence will be determined, giving the lessons in order of decreasing urgency.

A more refined method will be dynamic : during the play, the next move is chosen on account of an evaluation of the game situation, i.e. by determination of the momentary urgency of the lessons not yet scheduled. In practice, however, this evaluation process will be mainly based upon intuition and time-table experience, and not on a combinatorial survey of the consequences of every specific move.

On the other hand, if the game has not yet been finished, but no further move is possible within the limits of the rules stated originally, the game may be continued in three different ways.

In the first place, it may be tried to exchange the assignment of time-units for two or more lessons; as a result of this circulation process, new possibilities may be found for the next move.

Secondly, variation of tactics may be applied : a number of moves will be cancelled, and the game is resumed with a modified principle of urgency evaluation. Obviously, without such principles, the method would degenerate into a process of trial-and error.

A third method often applied in case of deadlock is most powerful in practice : it consists of the modification of the rules of the game. As indicated before, the original requirements and conditions of the problem will be changed or disregarded in a rather arbitrary way to enforce a final solution.

IV-2. Heuristic methods

The presentation of the general aspects of the manual composition of time tables may be illustrated by the procedure flow chart given below. Apart from these aspects, this global diagram of a time-table construction system also contains the in- and output procedures described in the preceding section.

The diagram equally applies to manual and computer construction of time-tables; in principle it will be representative for any of the heuristic methods hitherto published.

One of the parts of the programme indicated in the diagram has not yet been mentioned. In fact, it will appear on further investigation, that time-table conditions may be distinguished, with respect to their realization, to be of two fundamentally different kinds.

The first kind of conditions will require conclusive action, i.e. when the purpose stated in the condition has been achieved. The treatment of these conditions may be incorporated in the general procedure which handles the consequences of the planning of any specific lesson. On the other hand, a second kind of conditions requires preclusive measures, i.e. prior to the planning of the lessons to which these conditions apply, to prevent that their purpose should not be achieved. This kind of conditions will be much more difficult to handle; in view of this, a special prevention procedure is introduced.

It would carry much too far to present a review of the numerous publications on heuristic time-table construction; a few examples must suffice in this context.

For this purpose, papers have been chosen believed to be the earliest ones actually describing a method for time-table construction by means of a computer (1,2,3,4). It should be noted that in ref. (4), the concept is already introduced of a function which should be optimized to obtain a feasible solution. This idea has been extended in later publications, as will be indicated in the following.

In general, it should be noted that there is not any heuristic method which guarantees a complete solution. In all cases, the result will be a partial time-table, although examples have been reported with 95 perc. of all lessons scheduled. However, completion by hand will cause much additional work in general, since a number of assignments has to be cancelled for that purpose.

IV-3. Methods using other principles (1)

As indicated before, relatively few methods proposed for time-table construction by a computer are not based upon the heuristic principle. In general, the other principles considered for application to this problem may be distinguished as follows.

In the first place, methods may be based upon the general principle characterizing many Operations Research techniques. These may be defined as iterative procedures, starting with a first "solution" having any value of the "object function" to be optimized. Every step of such a procedure consists of the construction of a new solution from the preceding one yielding a better value for the object function.

In fact, some of the heuristic methods also use a kind of object function, as indicated for the corresponding references stated before. But the methods to be mentioned now will have an algorithmic optimization process, and not a heuristic one.

For example, methods have been described actually using linear programming (10); further, the application of network flow analysis has also been proposed (9).

In general, it may be found that the statement of time-table conditions in terms of mathematical constraints will be less difficult that the adequate formulation of an object function. With respect to the latter problem, reference is made to (11,12).

Secondly, the method should be mentioned, presented by Gotlieb (5,7,8), which actually consists of a systematic analysis of the existence of solutions. This procedure applies to the simplified problem of the assignment of hours to teachers and classes; apart from the curriculum requirements, the only time-table conditions taken into account are those concerning the availability of the elements.

This method may be used to detect the eventual impossibility of a time-table for a given set of conditions; however, it could not be proved that no time-table exists if the procedure presents such a conclusion. On the other hand, if the procedure finishes without stating impossibility, a feasible time-table will be constructed easily.

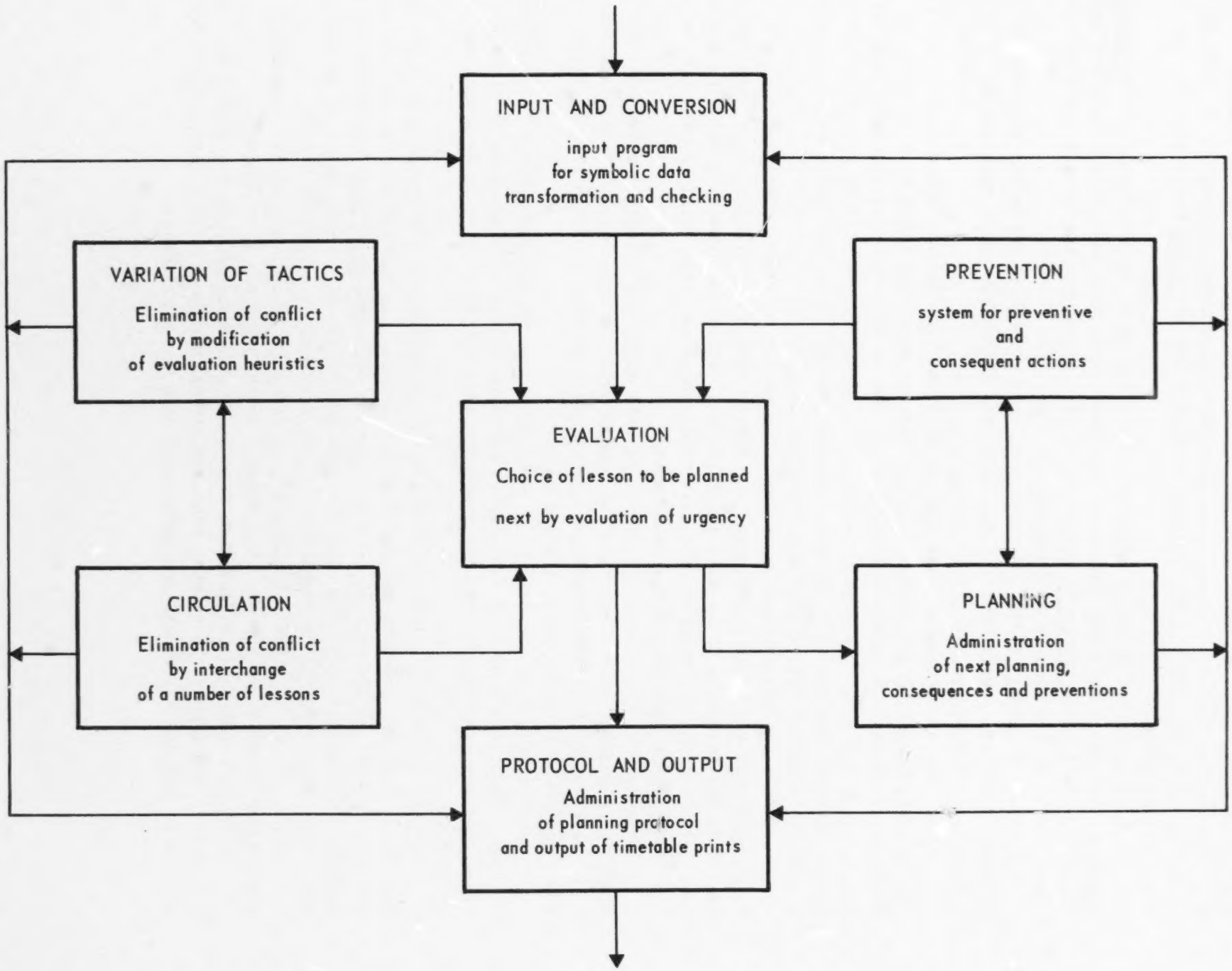
Much practical research is reported with respect to Gotlieb's method (6,13); the last reference gives a counter-example, showing that the procedure may reach a deadlock which might be resolved on inspection. However, in almost all cases, a positive result will be obtained.

A more serious aspects is given by the corresponding presentation of execution times for the method in question. Without going into details, it may be said that these times are quite considerable, even for small numbers of elements.

---

(1) The references used in this section are listed at the end of this paper.

GLOBAL DIAGRAM OF TIME-TABLE PROCEDURE



This might partly be examined for this method by its enumerative character. This may be conjectured to require relatively more time than a heuristic method, although comparison will be very difficult on account of the differences in quality of the results.

Finally, it should be asked in general, why the abundant literature on time-table automation does not contain any indication of the use of random techniques for the construction procedure.

This amazing fact might be examined by the following consideration of the number of solutions for two simplified time-table problems. This will also demonstrate the impossibility of a fully enumerative method, i.e. of a procedure investigating all possible combinations of the time-table elements.

Consider a school, having m teachers, each giving m different subjects to m classes. Every class will have its own room; the time-table cycle consists of m hours. There are no further conditions.

First, the curriculum will be that of an elementary school, where every class has its own teacher. Numbering the subjects of any teacher, the time-table will be given by m arbitrary permutations of the numbers 1 to m. Hence, in this case, there will be $(m!)^m$ solutions; for m = 7, this will be about 10^{26}. All solutions will be feasible, since this simple problem does not have coincidence restrictions. Thus, the probability of finding a feasible solution "at random" will be equal to 1.

Secondly, let the curriculum be that of a secondary school; for simplicity, it will be assumed that any class has exactly one lesson from every teacher, in a specified subject. Numbering the teachers, there will again be $(m!)^m$ solutions. However, owing to the coincidence restrictions applying to this case, only those solutions will be feasible, of which the permutations together form a Latin quare.

Consequently, for m = 7, there will be only about 10^{14} feasible solutions; the probability of finding such a solution "at random" will be equal to 10^{-12}. A large computer might investigate 1,000 solutions per second, say; working continuously, it would find about one feasible solution in a whole century.

In connection with the preceding considerations, it should be noted in general, that the total execution time required for any computer method of time-table construction will be one of the main aspects determining practical application of time-table automation on a large scale.

As yet, it is very difficult to state anything definite with respect to the computer time which will be needed for a practically feasible construction method. In fact, most results hitherto published must be considered to belong to experiments of a more or less advanced nature. Further, if execution times are mentioned at all, which is not often the case, they cannot easily be compared with one another, as indicated before.

Hence, it may be finally concluded that economic considerations will require the improvement of existing methods with respect to the computer time demanded.

Further, it will be evident that time-table automation should preferably be centralized for general application to several educational institutions. In any case, either the school budgets or the general education budget will have to be extended.

REFERENCES

(1) AKERMAN, F. — Elektronisk Schemalaeggning (Swedish); J. Swedish Highschools 5(Feb. 62), 4 pp.

(2) APPLEBY, J.S., BLAKE, D.V. and NEWMAN, E.A. — Techniques for producing school time-tables on a computer and their application to other scheduling problems; The Computer Journal 3(Jan. 61) 5, 237-45

(3) BERGHUIS, J. — La Composition des Horaires Scolaires (French); 23rd Bull users Conference, Bologna, (Apr.61), 117-24

(4) BERGHUIS, J., VAN DER HEIDEN, A.J. and BAKKER, R. — The Preparation of School Time-Tables by Electronic Computer; BIT : Norwegian J. Information Processing 4(64), 106-14

(5) CSIMA, J. and GOTLIEB, C.C. — A Computer Method for Constructing School Time-Tables; 18th Conf. Assoc. Comp. Mach. (Aug. 63), 18 pp.

(6) DUNCAN, A.K. — Further Results on Computer Construction of School Time-Tables; Communication of the ACM 8(Jan.65) 1, 72

(7) GOTLIEB, C.C. — The Construction of Class-Teacher Time-Tables; Proc. IFIP, Munich 62, Amsterdam 63, 73-77

(8) CSIMA, J. and GOTLIEB, C.C. — Tests on a Computer Method for Constructing School Time-Tables; Communications of the ACM 7(March 64) 3, 160-163

(9) GREKO, B. — School Scheduling through Capacitated Net Work Flow Analysis; Swedish Office of Organization Management, Stockholm (Sep.65), 19+40 pp.

(10) LAWRIE, N.L. — Linear Programming as an Aid to School Timetabling; Proc. British Joint Comp. Conf. (May 66), 16-22

(11) LAZAK, D. — Ein mathematisches Modell zur Erstellung von Stundenplaenen (German); Elektronische Datenverarbeiting 8(Jun.66), 102-11

(12) LAZAK, D. — Variable Zielfunktionen beim Stundenplanproblem (German); Elektronische Datenverarbeiting

(13) LIONS, J. — A Counter-Example for Gotlieb's Method for the Construction of School Time-Tables; Communications of the ACM 9(Sept.66) 9, 697-98

RESUME

L'AUTOMATISATION DE L'EMPLOI DU TEMPS:
RECHERCHE ET IMPACT SUR L'ADMINISTRATION
DES ETABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT

Grandes lignes de l'étude

Le but de ce rapport est d'étudier les aspects généraux de l'établissement d'un emploi du temps par ordinateur, en soulignant les conséquences de l'automatisation sur l'administration d'une école ou d'une université.

La première section de cette étude décrit globalement le problème général de l'emploi du temps. En particulier, les diverses conditions et servitudes sont examinées assez en détail, en raison de leur importance fondamentale pour les aspects didactiques et administratifs de l'utilisation pratique des emplois du temps.

La deuxième section traite des principales questions de recherche et de mise en oeuvre. En premier lieu, on procède à une évaluation pratique des emplois du temps établis manuellement et, à ce titre, on compare les problèmes d'emploi du temps dans les écoles secondaires et les universités.

On indique ensuite les tendances générales qui semblent entraîner l'automatisation de l'emploi du temps, ce qui conduit à examiner les objectifs d'un projet de recherche, entrepris par l'Université de Technologie de Delft, qui comporte une étude fondamentale du problème, l'analyse d'une mise en oeuvre par ordinateur et les questions pratiques d'administration et de gestion qui en résultent.

La troisième section présente le schéma d'un système général d'administration pour la préparation des données nécessaires à l'élaboration proprement dite de l'emploi du temps. Après une brève analyse de la structure de ce problème, les questions générales d'input et d'output liées à l'emploi d'un ordinateur sont examinées en détail, parce qu'elles ont une importance pratique générale pour la direction d'une école.

On utilisera des cartes perforées pour le rassemblement systématique des renseignements; des codes d'identification que l'ordinateur peut vérifier aisément sont établis à cette fin. Une procédure plus compliquée, exigeant des travaux de recherche fondamentale, vérifie l'input des servitudes qui sont introduites dans l'emploi du temps pour rechercher l'ajustement optimal aux pratiques courantes.

La conversion de ces données, qui sont requises pour la procédure d'établissement, est examinée afin de rechercher des dispositions efficaces de conservation des renseignements. Ceci, en retour, déterminera en partie les aspects structurels de la procédure d'établissement; ces relations mutuelles sont étudiées en détail.

On présente enfin l'output de l'ordinateur, c'est-à-dire les emplois du temps qui peuvent être préparés pour répondre à des objectifs différents. Une machine à imprimer à haute vitesse peut être employée pour la reproduction des résultats.

La quatrième section traite des aspects généraux des méthodes d'établissement d'un emploi du temps. En premier lieu, on procède à une analyse globale des principes essentiels gouvernant l'établissement manuel des emplois du temps. Cette présentation est faite sous forme d'un tableau général de flux, qui s'applique également à l'élaboration de l'emploi du temps par ordinateur.

En fait, le caractère heuristique de la procédure manuelle se retrouve également dans la plupart des méthodes par ordinateur qui ont été proposées jusqu'à présent. Quelques aspects généraux de ces méthodes sont brièvement examinés, de même que quelques extensions des méthodes fondées sur l'application des principes de la recherche opérationnelle.

Conclusions principales

- le respect des diverses servitudes imposées aux emplois du temps est essentiel du point de vue pédagogique et social;
- un des objectifs principaux de la recherche en automatisation devrait être d'identifier les caractères généraux des servitudes propres aux emplois du temps;
- il faudra trouver des critères généraux pour évaluer les emplois du temps en général et pour déterminer l'importance relative de servitudes particulières;
- pour les universités, l'énoncé de servitudes d'emploi du temps fondées sur des considérations pédagogiques devrait être amélioré; ceci peut vouloir dire que l'on devra limiter les conditions individuelles proposées par les professeurs;
- il est douteux que l'automatisation d'un emploi du temps d'une université puisse être réalisée sans que des modifications appropriées soient apportées à la structure de ses organes de direction;
- techniquement, la dimension et la structure des problèmes d'emploi du temps sont les mêmes pour les écoles secondaires importantes et pour les universités;
- l'automatisation des emplois du temps devient nécessaire surtout en raison de la croissance de la population, de l'extension des programmes scolaires et de la centralisation de l'enseignement dans des écoles polyvalentes;
- l'importance de l'emploi du temps pour la réalisation des programmes d'études doit être soulignée; les programmes d'études ne peuvent être établis sans tenir compte des restrictions pratiques qu'impose un emploi du temps réalisable;
- les travaux de recherche en vue de l'établissement d'un emploi du temps peuvent fournir des renseignements d'importance sur les besoins réels en locaux, qu'il s'agisse des installations existantes ou des programmes de construction;
- l'élaboration d'un emploi du temps pour un grand établissement d'enseignement est un problème à la fois scientifique et administratif;
- les questions pratiques de l'automatisation d'un emploi du temps pour la direction d'une école sont principalement liées aux inputs et outputs des données de l'ordinateur et aux résultats;
- le temps d'exécution totale nécessaire à l'établissement d'emplois du temps sera indispensable pour généraliser l'emploi des ordinateurs; l'automatisation de l'emploi du temps devrait de préférence être centralisée pour être appliquée à plusieurs établissements d'enseignement;

- il sera nécessaire d'augmenter soit le budget de l'école, soit celui de l'éducation nationale pour faire face au coût de l'automatisation des emplois du temps;
- la recherche générale sur l'automatisation des emplois du temps a atteint un stade expérimental avancé.

I. Le problème de l'emploi du temps

I-1. Définitions

L'emploi du temps d'une école est un tableau qui indique l'affectation d'unités de temps et de salles aux leçons qui constituent le programme d'enseignement.

Une leçon est la réunion pendant une unité de temps - heure - non encore spécifiée, d'un professeur - enseignant - et d'une ou plusieurs classes - groupes - d'élèves (ou d'étudiants) dans la même salle, réunion consacrée à une certaine matière du programme. Enseignants, groupes, matières, locaux, et unités de temps constituent ce que l'on appellera les éléments du problème de l'emploi du temps.

Le programme d'études est un ensemble complet de matières qui seront enseignées à l'école ou à l'université dont il s'agit. Dans ce programme, on indiquera pour chaque matière le groupe ou les groupes qui doivent la suivre. Le sous-ensemble des matières pour toute classe ou groupe spécifique s'appelle cours. Les matières qui font l'objet d'un cours peuvent être obligatoires ou facultatives;une option est le sous-ensemble de matières facultatives d'un cours, entre lesquelles chaque élève suivant le cours, doit choisir. Les salles de classe ayant une capacité différente, il sera nécessaire de procéder à une estimation du nombre des élèves par matière.

En outre, on indiquera pour toute matière le ou les professeurs qui l'enseignent; le programme donnera également le nombre de leçons consacrées à chaque matière pendant le cycle couvert par l'emploi du temps, ou bien la durée totale de ces leçons pendant cette même période, avec la répartition appropriée.

Il peut être avantageux de créer des matières fictives. Les leçons dans ces matières fictives peuvent ainsi couvrir les unités de temps nécessaires aux mouvements des groupes et des professeurs, à la préparation des salles et aux heures de liberté. De cette manière, il sera possible d'inclure le planning de ces leçons dans les éléments de l'emploi du temps.

Le cycle de l'emploi du temps est l'intervalle de temps, défini par un nombre déterminé de jours, pendant lequel l'emploi du temps sera périodiquement répété. L'emploi du temps sera valable pour une période donnée, par exemple un semestre ou une année. On peut avoir à tenir compte également de conditions qui relient entre eux des emplois du temps établis pour des périodes consécutives, ce qui complique leur élaboration.

En principe, la plupart des matières seront enseignées pendant chaque cycle de la période que couvre l'emploi du temps. Il peut également y avoir des matières à temps partiel qui ne sont enseignées que durant une fraction de la période, ou bien pendant un cycle sur deux.

Normalement, le cycle d'un emploi du temps sera d'une semaine; toutefois, une extension peut devenir nécessaire si le nombre des matières à enseigner est trop élevé. D'autre part, le nombre des salles de classe peut limiter le nombre des groupes que l'on pourra installer simultanément; dans ce cas, l'enseignement doit être dispensé par roulement.

Dans la plupart des cas, et c'est l'hypothèse retenue dans cette étude, les unités de temps sont d'une durée constante. Ceci facilite évidemment l'élaboration de l'emploi du temps; les unités de temps peuvent être numérotées, et toutes les leçons peuvent commencer périodiquement à des moments fixes. Par contre, on connaît le cas d'une très bonne université où les cours commencent pratiquement de cinq minutes en cinq minutes et ont une durée variable, mesurée en quarts d'heures. Bien entendu, cela peut considérablement nuire à l'efficacité, dans l'utilisation des locaux par exemple.

I-2. Différents aspects du problème

La préparation d'un emploi du temps pose une série de problèmes :

(a) En premier lieu, il y a le problème préliminaire de ce que l'on appelle d'ordinaire l'emploi du temps de l'élève. Il ne faut pas le confondre avec le problème de l'emploi du temps au sens propre, puisqu'il n'implique pas l'affectation d'unités de temps. En fait, c'est un des tout premiers problèmes d'administration scolaire que l'on doit examiner en vue d'un traitement par ordinateur.

Ce dont il s'agit ici, c'est de la composition de groupes d'élèves, tenant compte de leurs préférences individuelles à l'égard des cours offerts dans un programme d'études provisoire. En d'autres termes, cette question est du domaine de la préparation du programme d'études définitif, tel que nous l'avons défini ci-dessus, ce qui implique la construction des groupes, et la désignation des élèves, pour chacun des cours qui sera offert en fait.

(b) Par contre, le problème de l'emploi du temps proprement dit est toujours celui de l'affectation des unités de temps aux leçons. Sous la forme la plus simple, ce sera la seule question du problème, puisqu'un professeur donné et une salle de classe particulière auront été affectés, dès le départ, à une leçon quelconque du programme d'études.

(c) Bien souvent, le problème se trouve élargi par la nécessité d'affecter les locaux. Dans ce cas, pour chaque leçon, un sous-ensemble des salles de classe sera indiqué, entre lesquelles il faudra choisir celle qui devra être attribuée à la leçon.

(d) Enfin, l'affectation des professeurs peut également être intégrée dans le problème de l'emploi du temps. Dans ce cas, pour chaque leçon, on indiquera la catégorie de professeurs qualifiés pour cette leçon.

I-3. Exigences et restrictions

L'élaboration proprement dite d'un emploi du temps est caractérisée par un grand nombre de conditions, de restrictions et de servitudes.

(a) Tout d'abord, il y a les exigences fondamentales du programme d'études, c'est-à-dire que toutes les leçons prévues doivent figurer sur l'emploi du temps. Bien entendu, les leçons que l'on peut définir comme des combinaisons de divers éléments seront sujettes à des restrictions de coïncidence absolues, puisque les éléments sont indivisibles.

(b) En outre, de nombreuses conditions et servitudes spéciales dépendent du type d'enseignement considéré, et aussi de certaines "traditions de l'emploi du temps" au sein de l'établissement dont il s'agit. En fait, la liste des cours peut être élargie en raison de conditions secondaires concernant la combinaison ou le fractionnement de classes ou

groupes pour des leçons spécifiques. Il y a, d'autre part, des conditions liées à l'organisation : par exemple, affectation des salles de classe dotées d'un équipement spécial, ou situées dans des locaux différents, ou d'une capacité limitée.

(c) Enfin, ce qui rend vraiment le problème complexe, ce sont en général les nombreuses servitudes fondées sur des considérations à la fois pédagogiques et individuelles. Ces servitudes concernent essentiellement la distribution des heures et des jours d'"activité" et de "liberté" des professeurs et des groupes. Elles peuvent s'appliquer à l'ensemble des matières ou à certaines d'entre elles, à tout professeur ou tout groupe considéré soit individuellement, soit par rapport à d'autres professeurs et d'autres groupes.

Alors que les exigences mentionnées plus haut ont un caractère absolu, les servitudes sont d'une urgence relative qui dépend de divers facteurs essentiellement subjectifs. Le problème se trouve compliqué par l'existence même de ces servitudes et aussi par le fait qu'elles doivent être traitées en tenant compte des divers facteurs de pondération qui leur sont affectés, ce qui peut être une difficulté en soi.

Se conformer aux exigences absolues est évidemment indispensable pour qu'un emploi du temps soit "réalisable", mais, d'un point de vue pratique, le respect des autres servitudes est nécessaire pour que l'emploi du temps soit réellement "acceptable".

La généralisation des exigences et servitudes que nous allons exposer assez en détail en raison de l'importance qu'elles ont, est l'une des questions primordiales de l'automatisation des emplois du temps. En fait, l'input mais aussi la prise en compte de ces exigences et servitudes dépendront dans une très large mesure de la schématisation abstraite de leur structure.

Dans les résultats des recherches sur l'emploi du temps publiés à ce jour, cet aspect du problème est passé sous silence ou n'est mentionné que brièvement, probablement en raison de ses difficultés intrinsèques. De même, dans la plupart des cas, on ne traite, et de façon essentiellement marginale, qu'un nombre très restreint de conditions. C'est en partie pourquoi la plupart des méthodes actuelles ont un caractère très spécifique.

I-4. Conditions de l'emploi du temps

Les diverses exigences et restrictions, les servitudes pédagogiques et individuelles sont toutes comprises dans l'expression "conditions de l'emploi du temps". En fait, on verra qu'elles ont une structure très similaire, bien qu'elles soient d'une importance très variable.

Ces conditions peuvent être liées à la disponibilité des professeurs, groupes, salles et matières; à la répartition des leçons et des heures de liberté pour chaque jour du cycle de l'emploi du temps; à la succession ou à la simultanéité des leçons, ou à des heures, ou des jours, spécifiques ou arbitraires. Elles peuvent être énoncées séparément par matière, par groupe et par professeur. Mais, on les examinera ici toutes ensemble, car presque chaque condition spécifique peut être établie individuellement par tout professeur, et d'un point de vue pédagogique, pour un groupe ou une matière déterminés.

Qui plus est, l'affectation des matières à des professeurs et à des groupes étant connue, ces conditions peuvent également être énoncées en ce qui concerne les leçons correspondantes. C'est ce que nous avons fait plus loin en présentant un ensemble global des conditions de l'emploi du temps exprimées d'une façon générale et en combinant des conditions similaires dans un seul énoncé.

On a évité d'entrer dans les détails d'interprétation, mais on peut dire que cet ensemble contient pratiquement toutes les servitudes ou exigences qui peuvent se présenter en pratique, On en donnera quelques exemples.

(a) Dans une première catégorie des conditions d'un emploi du temps, on peut indiquer la disponibilité de professeurs, de groupes, de matières et de salles, en précisant si leur présence ou leur absence est requise ou préférée. Généralement, on les traitera comme des conditions incidentes, établissant un rapport entre un élément spécifique et un sous-ensemble des unités de temps :

- une préférence, ou une restriction peut être énoncée en ce qui concerne des jours ou des heures spécifiques pour toute leçon ou sous-ensemble de leçons.

En ce qui concerne les professeurs, ces conditions peuvent avoir un caractère privé ou résulter d'obligations imposées ailleurs. Les heures de liberté, traitées sous forme de matières fictives, peuvent également être fixées de cette façon; ou bien, on peut spécifier qu'elles doivent être accordées au commencement ou à la fin de la journée. En outre, on peut préciser que des groupes ne devront pas être présents certains jours ou à certaines heures, en raison d'heures de liberté fixées à l'avance, ou à cause du roulement. De plus, des leçons spécifiques peuvent être requises ou exclues à certaines heures, car en raison de leur nature spéciale elles nécessitent des salles ou installations particulières ou exigent une grande attention des élèves.

(b) Deuxième catégorie de conditions : la distribution des leçons entre les heures et les jours du cycle de l'emploi du temps. Ces servitudes de répartition peuvent s'appliquer à toutes les leçons faites par un certain professeur, ou données à un groupe spécifique ou aux leçons qui traitent de matières d'une nature particulière :

- il peut être indiqué qu'un nombre maximum, défini ou minimum de leçons spécifiques devra être donné pendant un jour fixé ou arbitraire;

- il peut être précisé que des leçons spécifiques devront être distribuées sur un nombre maximum, défini ou minimum de jours donnés ou arbitraires.

Au sens de "défini", la première condition peut s'appliquer à toute matière, étant donné la répartition des leçons prévue par le programme d'études. En outre, ces servitudes peuvent être énoncées en général, d'un point de vue pédagogique, ou individuellement par un professeur qui désire concentrer ou disperser toutes ses leçons ou une partie d'entre elles. Ces servitudes peuvent également s'appliquer aux heures de liberté ou aux temps de mouvement, traités comme des matières fictives.

- il peut être spécifié qu'un nombre maximum, défini ou minimum de leçons devra être donné à des heures particulières, certains jours spécifiques ou arbitraires.

Par exemple, on peut ainsi éviter, ce qui est pédagogiquement nécessaire, que des leçons ne soit données plusieurs jours à une même heure peu propice pour une ou certaines matières.

- il peut être demandé qu'un nombre maximum, défini ou minimum de leçons soit donné à la même heure définie ou arbitraire.

Cette condition peut être imposée pour mettre en réserve un ou plusieurs professeurs, au choix, pour des activités de supervision, de remplacement ou d'organisation; elle peut également s'appliquer aux leçons données par un nombre limité de professeurs, ou dans des salles spéciales.

(c) Troisième catégorie de conditions : la succession ou la simultanéité de leçons, pendant la totalité ou une partie du cycle de l'emploi du temps. Ces servitudes peuvent elles aussi s'appliquer à toutes les leçons données par un professeur particulier, ou à tel ou tel groupe, ou traitant de matières d'un type spécifique :

- il peut être spécifié que des leçons doivent être (ou ne pas être) données consécutivement certains jours ou tel ou tel jour particulier.

Cette condition peut être énoncée afin que des leçons soient données consécutivement dans une ou plusieurs matières, au même groupe ou à des groupes différents, et cela, soit pour respecter les exigences de la répartition, indiquées dans le programme d'études pour chaque matière, soit pour éviter des mouvements de professeurs ou de groupes, soit pour provoquer la répétition d'un événement. Là encore, cette condition peut s'appliquer à des matières qui requièrent des temps de mouvement, ou à la réservation de salles qui doivent être préparées ou remises en ordre avant ou après les leçons correspondantes. Sous sa forme négative, cette servitude peut être également imposée pour des leçons dans des matières qui exigent une grande concentration de la part des élèves.

- il peut être précisé qu'un nombre maximum, défini ou minimum d'heures successives de leçons spécifiques doit être donné certains jours déterminés ou arbitraires.

II. Principes et objectifs

II-1. La qualité d'un emploi du temps

Avant de voir s'il faut utiliser un ordinateur pour l'élaboration des emplois du temps, il convient de préciser quelques aspects fondamentaux du problème.

On peut d'abord se demander s'il existe un emploi du temps quelconque qui puisse satisfaire à toutes les restrictions, exigences et servitudes imposées par un cas donné. Cette question théorique de l'existence d'une solution peut être envisagée, indépendamment de la question pratique de savoir comment établir l'emploi du temps idéal.

Sans nul doute, c'est le deuxième aspect du problème, c'est-à-dire l'établissement d'un emploi du temps, qui est important. Cette remarque s'applique également à la situation normale, à savoir qu'on ne peut trouver, ou qu'il n'existe pas, de solution idéale. Donc, à défaut de solutions idéales, il faudrait préparer des emplois du temps pratiques qui répondent aux exigences et aux servitudes "dans toute la mesure du possible".

C'est là un objectif assez mal défini; dans les deux cas, un troisième aspect du problème se trouvera donc posé, à savoir le "classement relatif" des emplois du temps, c'est-à-dire l'évaluation comparative des différentes solutions.

Si des critères généraux pouvaient être retenus pour cette évaluation, le quatrième aspect du problème serait la recherche d'un emploi du temps optimal. Bien entendu, une procédure appropriée permettrait d'atteindre la solution idéale, si l'existence de tels emplois du temps pouvait être établie.

Dans l'autre cas, on serait en mesure d'indiquer avec une plus grande exactitude laquelle des variantes obtenues représente, en fait, l'approximatisation optimale de l'emploi du temps idéal, compte tenu des restrictions formulées.

En pratique, on prendra normalement pour hypothèse que les exigences et les servitudes ne peuvent pas être pleinement satisfaites, ce qui exclut donc la possibilité d'une solution

idéale. Il en résulte, en fait, que l'élaboration "manuelle" de l'emploi du temps comporte de nombreux compromis imprévus et des modifications spécifiques des besoins formulés à l'origine.

Les décisions correspondantes sont essentiellement fondées sur des impondérables, puisque l'exploration de variantes "localement" possibles exigerait beaucoup trop de temps et d'efforts, en admettant qu'elle soit réalisable. En conséquence, la tendance à accepter un compromis est renforcée par la nécessité d'obtenir, sans efforts démesurés, un emploi du temps qui puisse être utilisé en pratique.

Bien entendu, le résultat ne sera qu'une approximatisation partielle et subjective de ce qu'était l'intention initiale, puisque diverses conditions ont été modifiées ou écartées. En conséquence, l'emploi du temps sera très diversement apprécié par ses utilisateurs. En particulier, si certaines servitudes n'ont été que partiellement respectées, la question se posera de savoir si une meilleure solution, qui tiendrait pleinement compte de ces servitudes, peut être trouvée. Les doléances peuvent s'accompagner de suggestions pour l'établissement d'une variante "locale", qui fournirait une meilleure approximatisation des besoins spécifiques. En fait, il apparaîtra souvent que cette "meilleure" solution ne peut être obtenue qu'au détriment des autres conditions.

En conséquence, une méthode plus pratique consistera à définir des critères généralement acceptés, tant pour la politique de compromis pendant le processus d'élaboration que pour la comparaison des variantes, comme on l'a indiqué auparavant. On obtiendra ainsi une procédure d'établissement des emplois du temps plus objective et une méthode d'évaluation, conduisant à la sélection d'un emploi du temps, acceptable pour tous les utilisateurs, parce qu'elle répondrait globalement, et au mieux, aux exigences et servitudes qu'ils ont imposées.

II-2. Comparaison des emplois du temps pour les écoles et les universités

Pour les écoles primaires, le problème de l'emploi du temps se présente sous la forme la plus simple : un seul maître et une salle de classe fixe pour la quasi-totalité des leçons faites à une classe donnée. Si ce n'est pas le cas, le problème ressemble beaucoup à celui d'une école secondaire : des maîtres différents font des cours différents à la même classe; la salle de classe est fixe, soit pour les leçons d'un même maître, soit pour toutes les leçons faites à cette classe.

Pour l'école secondaire, comme pour l'université, la combinaison et le fonctionnement des classes et des groupes, l'introduction de matières facultatives et l'utilisation beaucoup plus différenciée des locaux élargissent le problème. Bien entendu, le nombre des conditions imposées à l'emploi du temps augmente également considérablement.

Enfin, il faut mentionner qu'un certain type de problèmes de planning industriel ont presque la même structure que les problèmes d'emploi du temps énoncés ci-dessus; toutefois, on ne les examinera pas dans ce contexte.

Afin de procéder à une comparaison plus détaillée des problèmes qui intéressent les écoles secondaires et les universités, il faudrait noter d'abord que le nombre total des leçons prévues pour un cycle constitue une mesure objective de la dimension de tout problème particulier d'emploi du temps. De ce fait, il est possible d'établir une comparaison globale des problèmes concernant les établissements d'enseignement quels qu'ils soient.

Prenons un exemple général : une grande école secondaire dont le cycle d'études s'étend sur cinq ans et qui compte entre 1.000 et 1.500 élèves a quelque 50 classes, chacune d'elles assistant à 40 leçons par semaine. En conséquence, y compris les cours facultatifs, environ 2.000 leçons seront données par quelque 80 professeurs, chacun d'eux faisant en moyenne 25 leçons par semaine.

Par contre, une université comprenant 10.000 étudiants et divisée en 20 facultés, chacune d'elles ayant un cycle d'études de cinq ans, offrira 100 cours différents, chacun sous forme de 20 leçons par semaine. Ainsi environ 2.000 leçons seront données au total par quelque 200 professeurs, à raison de dix leçons en moyenne par professeur et par semaine.

En général, la différence structurelle entre les problèmes d'emploi du temps des écoles et des universités n'est pas aussi importante qu'on pourrait s'y attendre. En fait, les dimensions sont du même ordre et les diverses exigences et servitudes, bien que divergentes sur des points secondaires, peuvent être tout aussi nombreuses et avoir la même structure fondamentale. Toutefois, dans la plupart des cas, la principale différence concernera la prise en considération des exigences et des servitudes.

Dans les écoles secondaires, les considérations pédagogiques l'emportent en général; pour les universités, les conditions posées par chaque professeur sont prédominantes, ce qui peut s'expliquer en partie par le fait, déjà indiqué, qu'une université a beaucoup plus de professeurs qu'une école, alors que les dimensions des emplois du temps des deux établissements sont identiques.

Cependant, la principale différence tient à l'organisation structurelle des deux types d'établissements. D'une façon générale, dans une école secondaire, la direction, qui porte un jugement sur l'importance relative des nécessités d'ordre pédagogique et des conditions individuelles, est plus centralisée que dans une université où la direction collégiale est composée de membres de facultés plus ou moins autonomes.

Il faut souligner, à ce stade, qu'en raison de cette différence dans la structure des organes de direction, l'élaboration d'un emploi du temps peut être beaucoup plus difficile pour une université que pour une école secondaire, bien que la technique soit la même dans les deux cas.

Il est également évident que les difficultés inhérentes à l'organisation constituent en soi un obstacle à l'introduction efficace des méthodes par ordinateur. On peut même se demander si l'automatisation de l'emploi du temps pour certaines universités est réalisable sans modification préalable de la structure de leurs organes directeurs.

II-3. Principes de base pour l'automatisation

Des travaux de recherche considérables sur l'utilisation d'ordinateurs pour l'établissement d'emplois du temps ont été poursuivis au cours des dix dernières années. Outre son intérêt scientifique, cette recherche semble largement motivée par des considérations pratiques que l'on analysera en détail.

En fait, l'importance et la complexité des problèmes d'emplois du temps dans les écoles secondaires et les universités s'accroissent rapidement pour les raisons suivantes :

- un pourcentage croissant d'une population en expansion accèdant à l'enseignement secondaire et universitaire, ce qui augmente considérablement l'effectif moyen, particulièrement dans les établissements secondaires;
- l'extension des programmes d'études secondaires et universitaires en vue de leur diversification et de leur spécialisation;
- la concentration des moyens d'enseignement qui accroît le nombre relatif des écoles de très grandes dimensions.

Les conséquences pratiques sont les suivantes :

- en raison de la variété toujours plus grande et des options facultatives, les élèves sont répartis en petits groupes dont chacun a tantôt des cours communs avec d'autres groupes et tantôt des cours séparés;
- parallèlement, les écoles ont un nombre croissant de professeurs; certains sont hautement spécialisés, mais d'autres ne sont que partiellement qualifiés du fait de la pénurie de personnel enseignant;
- en conséquence, de nombreux professeurs ne donnent qu'un nombre relativement peu important de leçons; leur disponibilité est limitée par d'autres engagements, ce qui entraîne des conflits entre emplois du temps d'écoles différentes qui se partagent les services de professeurs spécialisés;
- en outre, ces enseignants à temps partiel posent des conditions individuelles relativement nombreuses qui, souvent, peuvent être prédominantes;
- d'autre part, il faut de plus en plus de locaux, ce qui conduit à une utilisation intensive des salles de classe existantes, et en particulier des plus vastes;
- on peut donc être amené à utiliser des annexes, d'où des va-et-vient interrompant les cours, ou bien à introduire un système de roulement qui augmente le nombre des heures de l'emploi du temps quotidien;
- de ce fait, on peut aboutir à un élargissement du cycle de l'emploi du temps; élargissement qui peut en outre résulter de l'accroissement du nombre des leçons, en raison des options facultatives.

En conclusion, étant donné ses dimensions et ses complexités croissantes, il deviendra de plus en plus difficile d'établir manuellement un emploi du temps qui puisse répondre raisonnablement aux divers besoins. D'autre part - c'est une indication secondaire, mais d'une importance sociale évidente - c'est souvent l'un des principaux professeurs qui se chargera volontairement de ce travail et qui devra y consacrer une ou plusieurs semaines de ses vacances d'été.

Par contre, il faut souligner l'importance de l'emploi du temps pour la réalisation optimale de tout programme d'études. Souvent, même avec des méthodes modernes et dans le cadre d'une approche globale, le programme est établi sans tenir compte des possibilités techniques de l'exécuter dans le cadre des limites pratiques d'un emploi du temps judicieux.

II-4. Objectifs généraux de la recherche

Cette section donne les grandes lignes des recherches consacrées à l'élaboration de l'emploi du temps de l'Université de Technologie de Delft. On peut estimer, cependant, qu'elle traite des aspects essentiels du problème général, du fait, notamment, que les facteurs spécifiques des écoles secondaires ont été incorporés à l'ensemble du projet.

Il s'agit tout d'abord de voir si les tâches croissantes d'organisation et d'administration que requiert l'emploi du temps de l'université peuvent être, partiellement ou entièrement, réalisées au moyen d'un ordinateur.

L'objectif principal du projet est d'établir un emploi du temps qui réponde mieux qu'un emploi du temps réalisé manuellement aux divers besoins.

En fait, en procédant à une analyse systématique de toutes les données et de leurs conséquences, et à l'examen des autres solutions possibles, il devrait être possible d'éviter les compromis marginaux qui caractérisent un emploi du temps établi manuellement.

En revanche, des compromis d'une portée générale seront encore nécessaires pour obtenir des solutions pratiques, puisque l'emploi du temps idéal n'existera probablement jamais. Mais, on pourrait aboutir systématiquement à ces compromis par une comparaison objective de tous les facteurs en jeu. Ainsi donc, sur la base d'un système de classement généralement accepté, on pourrait obtenir une solution optimale qui convaincra tout utilisateur individuel qu'elle répond le mieux aux exigences et aux servitudes.

Cependant, s'il n'était pas possible de s'entendre sur une méthode définie de comparaison, l'ordinateur devrait permettre d'élaborer un certain nombre de variantes entre lesquelles il serait possible de faire un choix qui satisfasse la majorité des utilisateurs.

En outre, l'élaboration de variantes peut présenter un intérêt général : à savoir, fournir des emplois du temps de remplacement en cas de changements temporaires.

Certes, les méthodes à mettre au point doivent avant tout permettre d'établir un emploi du temps pour l'Université de Delft. Cependant, en vue de l'intérêt de tous, elles doivent, autant que possible, pouvoir être généralisées et être appliquées pour l'élaboration de l'emploi du temps d'autres universités et d'écoles secondaires. Bien entendu, ceci implique d'abord que les diverses conditions imposées aux emplois du temps soient énoncées sous une forme générale, comme on l'a indiqué auparavant.

Plus concrètement, certains aménagements pratiques devraient être envisagés :

- l'affectation générale des cours devrait être améliorée, en particulier en ce qui concerne ceux qui portent sur des matières facultatives suivies par certains groupes, et qui coïncident parfois même avec des leçons portant sur des matières fondamentales obligatoires pour ces groupes.

Comme on l'a déjà indiqué, il peut être nécessaire d'adapter la liste des cours établie par les diverses facultés aux restrictions techniques de l'emploi du temps. Ceci s'applique tout spécialement aux matières facultatives communes qui peuvent requérir une meilleure coordination des facultés. Bien entendu, ce n'est pas là une question technique, mais un problème de direction.

- il faudrait respecter davantage les conditions formulées par chacun des professeurs et résoudre les intérêts contradictoires de professeurs différents.

C'est là encore un problème de direction qui nécessite une réglementation des conditions présentées par les professeurs, et l'établissement d'un ordre de priorité.

- il serait souhaitable d'accorder une plus grande attention aux considérations pédagogiques concernant la répartition des leçons destinées à un seul groupe : ces leçons devraient être faites consécutivement pendant la même journée.

Il faudrait assurer une certaine variété dans la nature des leçons consécutives données à un groupe. D'autre part, le nombre des mouvements effectués par un groupe à l'intérieur de l'université devrait être limité, ne serait-ce que pour éviter les "embouteillages".

En général, l'efficacité du programme quotidien de chaque étudiant devrait être améliorée. En fait, l'influence d'un emploi du temps plus rationnel sur le rendement général de l'enseignement supérieur ne devrait pas être sous-estimée.

- l'emploi du temps général de l'université doit incorporer non seulement les cours proprement dits, mais également les exercices et travaux pratiques, ce qui paraît impossible lorsqu'il est établi manuellement.

De toute évidence, il s'agit là encore de problèmes de direction qui exigent la coordination des facultés et, peut-être un changement de politique, les conditions posées par les professeurs, l'emportant trop souvent sur les considérations pédagogiques générales.

- l'affectation des salles de classe devrait viser à une utilisation plus efficace des locaux disponibles.

En principe, il faudrait déterminer au plus juste le nombre maximal des salles de classe qui seront occupées à chaque heure du cycle de l'emploi du temps, afin d'obtenir des renseignements sérieux sur les besoins réels en locaux au moment présent, et dans le cadre de l'expansion future.

En fait, pour une structure du programme d'études donnée et selon l'effectif escompté d'étudiants qui suivront les divers cours offerts à l'avenir, un examen de ce genre devrait fournir des données dignes de foi sur le nombre et les dimensions optimales des salles de classe pour tout programme de construction.

Ceci montre à nouveau l'importance cruciale de l'emploi du temps pour la direction et la gestion d'une école ou d'une université.

II-5. Aspects de la recherche

Outre les objectifs principaux qui viennent d'être indiqués et qui ressortissent à la pédagogie et à l'organisation, la recherche dans le domaine de l'emploi du temps est également motivée par certains aspects à la fois théoriques et pratiques.

En premier lieu, certaines questions concernant l'élaboration d'un emploi du temps sont d'un intérêt scientifique général. On peut les résumer comme suit :

- à ce jour, il n'existe pas encore de procédure précise pour résoudre ce type de problème; on peut se demander si un problème d'une telle ampleur et d'une telle complexité pourra jamais être abordé par une méthode algorithmique convergente.

En particulier, ceci pose à nouveau les questions déjà mentionnées, de l'existence de solutions et de leur évaluation. Il faudrait examiner si les méthodes actuelles de Recherche Opérationnelle pourraient être employées ou élargies pour résoudre le problème de l'emploi du temps sous ses formes simples et sous ses formes plus compliquées.

- pour la réalisation d'emplois du temps par ordinateur, on visera d'abord à la mise au point de méthodes heuristiques.

Sans aucun doute, on pourrait recourir à la simulation des procédures manuelles employées pour l'établissement des emplois du temps, procédures qui devront d'abord être analysées. Cependant, il n'est pas prouvé qu'une méthode efficace par ordinateur doive nécessairement avoir la même structure heuristique.

De toute façon, pour la mise au point de méthodes algorithmique et heursitique, l'ampleur du problème posera des questions de réalisation par ordinateur. Ces questions seront étroitement reliées au deuxième aspect général de la recherche :

- outre la mise au point des procédures de construction d'emplois du temps, il faudra concevoir un système général d'administration qui traitera les renseignements correspondants.

Evidemment, on aura besoin d'un très grand nombre de données fournies par de très nombreux informateurs. Le système devrait donc prévoir la compilation et la préparation de

ces données sous forme d'input pour ordinateur; il devrait prévoir également l'output et la distribution, sous une forme imprimée, des diverses sélections d'emploi du temps.

Le système devrait également inclure des procédures programmées pour vérification et correction des données d'input, et pour leur conversion et condensation. En fait, puisqu'il faudra probablement beaucoup de temps pour mettre au point une véritable procédure de construction, il est extrêmement important qu'elle soit fondée sur des données correctes qui seront enregistrées efficacement pour permettre leur utilisation optimale.

Il est évident que les considérations précédentes auront une très grande influence sur la méthode de rassemblement et de codage des données qui devra, par ailleurs, être adaptée, dans la mesure du possible, aux pratiques existantes. Cela peut soulever des problèmes d'organisation et peut-être des questions d'ordre psychologique; mais à nouveau, il s'agit d'un problème de direction de l'établissement.

Tout ceci montre clairement que l'élaboration d'un emploi du temps pour un grand établissement d'enseignement est à la fois un problème scientifique et un problème de direction.

SIMULATION AND RATIONAL RESOURCE ALLOCATION IN UNIVERSITIES*

by Richard W. Judy

Resource allocation in education, as elsewhere, involves 1) establishment of objectives, 2) elaboration of alternatives, 3) evaluation of the costs and utilities of alternatives, and 4) choice from among alternatives. As economists, we presume that the ultimate goal is to maximise some function of the objectives subject to whatever constraints may be imposed.

This formulation of the problem of allocating resources is sufficiently general to apply to the entire educational system or to any of its subsystems. The striking truth is that important decisions at all levels of our educational systems continue to be made without well-defined objectives, without knowledge of many alternatives, and without information about the probable consequences of various choices.

The task of economists, system analysts and operations researchers is to assist educational decision-makers to specify their objectives, to identify alternatives, and to help to estimate the probable costs and utilities of those alternatives. The task of weighing the respective costs and utilities of the alternatives, and of choosing from among them must remain the responsibility of authorized decision-makers.

I. The Inadequacies of Conventional Financial Reporting in Universities

Conventional methods of budgeting and accounting in universities may satisfy the needs of fiduciary control, but they fail to provide administrators with information useful for making decisions. A university's current expenditures are commonly placed into resource categories such as academic salaries, non-academic salaries, supplies, equipment, etc. Budgets and reports are drawn up for basic budgetary units (e.g., academic departments), aggregated within faculties and schools, and summarized for all parts of the university. Table 1 portrays part of a budget organized according to this format.

University administrators at all levels, from departmental chairmen through deans to provosts and presidents, find little information in such budgets to guide them in allocating resources within their institutions. To governmental departments and ministries of education, such budgets are opaque screens revealing dim shadows of the real patterns of activities and costs within the university. Credibility of stated requirements must rest on the

---

* The work reported here was sponsored by the Donner Canadian Foundation, the Department of Education (Province of Ontario) via the Ontario Institute for Studies in Education, and the Office of Institutional Research, University of Toronto. Grateful acknowledgement is made to my colleagues, Mr. Jack B. Levine, Professor Vincent Bladen, Mr. Bertram Hansen, Miss Junith Barron, Mr. Ron. McDougall, and Miss Lynn Robinson. Remaining errors are mine.

persuasive powers of subordinates and ont the faith of superiors. One writer phrased his criticism in the following words :

> Conventional budgetary formats provide very little information of value for decision making. They cover short time frames, provide no clues to what is being done, point up no relations between teaching and research, provide no guides to graduate and undergraduate levels, and exhibit no information on costs except in a relatively inaccurate aggregate sense; moreover, they may contribute to obscuring rather than sharpening management decisions.(1) (See footnotes at the end of the text).

Table 1

A Typical Conventional Budgetary Format of a University

Budget of the Faculty of Arts and Science ---- Page 1

Department and Cost Category	1966/67	1967/68	Increase
Anthropology			
Academic salaries			
Non-academic salaries			
Supplies			
Equipment			
Miscellaneous			
Astronomy			
Academic salaries			
Non-academic salaries			
Supplies			
Equipment			
Miscellaneous			
Botany			
Academic salaries			
Non-academic salaries			
Supplies			
Equipment			
Miscellaneous			
Chemistry			
Academic salaries			
Non-academic salaries			
Supplies			
Equipment			
Miscellaneous			
Classics			
Academic salaries			
Non-academic salaries			
Supplies			
Equipment			
Miscellaneous			

For purposes of rational resource allocation in universities, the fundamental flaw of conventional financial reporting is that it is not oriented toward institutional objectives. These objectives should be formulated in such terms as the following :

1. The quality and quantity of first degree graduates in the various fields of study.
2. The quality and quantity of graduates from various advanced study programs.
3. The quality and quantity of research in various fields.
4. The professional development of the academic staff.
5. The holdings and services of the university library.
6. The quality and quantity of various kinds of public service provided by the university

Because most budgetary units of the university are simultaneously engaged in programs directed toward many such objectives, the costs of many diverse kinds of programs are imbedded in the financial reports of those budgetary units. Everything gets mixed together in the great melange of the departmental budget; after aggregation, it becomes very difficult to associate expenses and costs with specific programs. No one can say what quantities of resources are committed to which programs. Reliable estimates of costs per unit of "output" of the various programs are unobtainable. Current operating budgets are hard to justify. Future planning proceeds in the informational darkness. Rational resource allocation can be only fortuitous under such circumstances.

I-1. Recent Progress in Program Cost Reporting

As universities have become larger and more complex, the ability of university administrators to allocate resources on the basis of personal familiarity with all aspects of the institution has diminished. As the magnitude of public contributions to higher education has grown and as appreciation of the social importance of education and research has heightened, governmental bodies have displayed increasing concern with the direction of and return from public investment in the universities. These two forces, one internal, the other external, have encouraged the development of new methods of financial reporting. These new methods attempt to collect and present cost information so that it can be related to programs and objectives of the university.

(A) Cost Analysis - The first class of new methods may be grouped under the rubric of "cost analysis". The word "new" is used here in a very relative sense because pioneering cost analysis was being done at least as early as the 1920's.(2) (See footnotes at the end of the text).

Cost analysis is pervaded by the spirit of cost accountancy as contrasted with the more traditional accounting concepts that underlie conventional university financial reporting. Most university cost analyses consist of the allocation, expost, of all costs to the several programs. Cost per student figures are computed from the total costs of instructional programs (3) (See footnotes at the end of the text). Most cost analyses are program-oriented, and to the extent that they are, they represent a definite improvement over conventional fiduciary reports.

Despite their progressive features, university cost analyses suffer important defects as sources of information for university decision making. Some of their most important shortcomings are the followings :

1. They are static. At best, the cost analysis of a university's annual expenditures can reveal only one value of the total cost function for each program. The "cost per student" figure is not a marginal but an average magnitude. Taking the average cost as equivalent to the marginal cost leads to error in evaluating the costs of future changes in program levels unless total cost is a first degree homogeneous function of program level.
   If marginal costs exceeds average costs, the use of the latter would cause university administrators to under-estimate the total costs of expanding a program. the reverse would be true if marginal costs were below average costs as revealed in the "cost per student" figure.
   One might attempt to derive the total cost curve of a program by plotting the time series of program costs. This will work only if there is no shift of the cost function from year to year. If there are such shifts, connecting the annual observations will trace out a nonsense curve that definitely is not the total cost function.

2. They are rigid. One thing that university decision makers desperately need is a means of answering "What if ...?" questions. For example, what if professorial salaries change in a certain way ? Or, what if the pattern of enrollment changes in such-and-such a way ? Or, what if the curriculum in a certain program changes its emphasis from large lectures to small group seminars ? What would be the cost implications of such "What if ...?" questions ?
   Because they are rigidly wedded to the past, the data produced by cost analyses can contribute very little to the answering of "What if ...?" questions.

3. They ignore externalities. Cost analyses treat program costs as if they were a function only of the level of that particular program. They ignore spillover costs and benefits among programs. It is not a matter of indifference, for example, to the cost of educating medical doctors that the university should have large and excellent chemistry programs.

(B) Program budgeting - The second of the new methods is program budgeting. This is the application to intra-university bedgeting of principles developed and applied in public finance [4] (see footnotes at the end of the text). According to Professor Arthur Smithies, program budgeting "...involves the use of budgetary techniques that facilitate explicit consideration of the pursuit of policy objectives in terms of their economic costs, both at the present time and in the future" [5] (see footnotes at the end of the text).

Program budgeting is decomposed into three stages : 1) Planning, in which institutional objectives are specified and long range plans are laid, 2) Programming, in which more proximate goals are elaborated and programs leading to those goals are established, and 3) Budgeting, in which resources are allocated to the various programs.

The immediately visible result of program budgeting is the preparation of budgetary documents that explicitly display information about program levels and costs for the current year and for several future years. Inter-program cost/utility analysis is facilitated by this juxtaposition. Table 2 compares program budgeting and conventional budgeting with respect to the questions they raise.

At a more fundamental level, program budgeting is not so much a technique or a method as it is a Weltanschaung. To urge a minister of higher education or a university president to adopt program budgeting is to procelyte him and his organization. It is an attempt to convert him to the economist's way of thinking. This is, of course, totally laudable

evangelism. But to promote rational resource allocation in universities, we need not only to preach the gospel and to introduce new budget formats, we need to facilitate analysis.

Table 2

The Focus of Program and Conventional Fiduciary Budgets

Program Budgeting	Fiduciary Budgeting
Alternative ways to achieve university goals and objectives	Sources of funds
Major programs in teaching and research	Constraints on receipt and expenditure of funds
Resource requirements explicity related to each program and sub-program.	Aggregates of expenditure on - Administration - Teaching and Research - Maintenance - Student Services
"True" costs of major programs and program elements	Legal and administrative accounting for funds
Marginal and opportunity costs	Average cost ratios
Long time periods	Short time periods
Level of activities "produced"	Purely fiscal matters

Source : Williams, Harry, Planning for Effective Resource Allocation in Universities, Washington D.C., American Council on Education, 1966, p. 15

As Harry William states in his admirable little book :

> The single most important parameter of the planning and programming landscape is the analysis which lies behind the structured budget format. The structure of the annual budget is but the visible portion of the program-budgeting iceberg; analysis is the hidden portion. (6) (see footnotes at the end of the text).

To perform such analysis, we need tools that will permit rapid, accurate, and economical exploration of the cost implications of alternative program levels and of alternative methods of achieving those levels. The remainder of this paper describes some recent work on the development of such tools.

II. The University as a System

A university may be conceived as a system concerned with the production, preservation, retrieval, and propagation of knowledge. More mundanely, a university may be viewed as a system which transforms inputs into outputs. A suggestive list of these inputs and outputs is provided in Table 3.

Table 3

Inputs and Outputs of the University

Inputs	Outputs
Newly enrolling and re-enrolling students	Graduates from the various degree and non-degree programs.
Time devoted to instruction by the teaching staff	Failures and dropouts.
Time devoted to administration.	Completed research and publications in various fields.
Time devoted to counseling students.	Professional development of the staff.
Time devoted to library services and other information storage and retrieval	Information stored (on paper and other media).
Physical plant (lecture facilities, laboratories, offices, libraries, residences, etc.)	Public service.
Books, periodicals, documents and other media of information storage.	Other.
Maintenance.	
Equipment.	
Supplies.	
Computer facilities.	
Travel.	
Other.	

It is far from sufficient, however, to regard the university system as merely a "black box" which somehow transforms inputs into outputs. To discover the inputs required to produce given sets of outputs, we must know something about the transformation functions of the system. These functions involve many system parameters. Among them are those pertaining to the various programs, e.g. required subjects, optional subjects, subject loads carried, hours per week of laboratory and lecture, extent of reading, passing rates and failing rates. Other parameters pertain to academic department policies, e.g. teaching loads per staff member, class sizes, extent of emphasis on research, office space per staff member, distribution of staff among ranks, committee and administrative duties, clerical and secretarial assistance provided, and salaries. Other parameters include space per student provided in lectures, laboratories, and common rooms, pension and other fringe benefits, promotion practices, staff recruitment and retention rates, computational facilities provided per student and staff member in various fields, central administration per student and staff member, etc. This list is far from exhaustive but it serves to illustrate the sorts of parameters in terms of which the university system must be described.

II-1. A System Simulation Model

In December, 1964, the Commission on the Financing of Higher Education in Canada commissioned a pilot study to investigate the feasibility of a university system simulation model. Such a model was designed to imitate or simulate the interaction of output activity levels, system parameters, and resource inputs in the university system. The model accepts specifications of various activity levels, system parameters, and uncontrollable variables; with the aid of a digital computer, it calculates estimates of the quantities of resource inputs needed to accomplish the specified programs. This successful pilot model was designed for the Faculty of Arts and Science in the University of Toronto. Given the acronym CAMPUS (Comprehensive Analytical Model for Planning in the University Sphere), this early effort was described in a Report to the Commission on the Financing of Higher Education in Canada. (7) (see footnotes at the end of the text).

Since publication of the CAMPUS Report, the idea of university system simulation models has aroused considerable interest among North American universities. At the University of Toronto, the President and Board of Governors established a new Office of Institutional Research whose Director is Special Assistant to the President. The Office was staffed with highly qualified economists, operations researchers, and system analysts; its first assignment was to expand and implement the CAMPUS model for the entire University.

The following sections discuss some ways in which the university simulation model can be used, the types of computer-prepared reports produced by the model, the structure of the model, and the problems of building and operating such a model.

II-2. Using a Simulation Model in University Administration

What is the scope of a university system simulation model? For what is it useful ? How can it be used ? The purpose of this section is to suggest answers to these questions by posing concrete problems and illustrating the usefulness of the model in their analysis. For each of the problems examined, the task is to assess the resource implications of alternative programs or alterations in the university system itself.

(A) Resource Implications of Enrollment Projections

Assume that enrollment forecasts exist for the coming decade. These forecasts pertain to total university enrollment; they are not disaggregated to the level of specific courses.

Problem : What are the resource implications of the enrollment forecasts ? How many teachers of various qualifications will be required ? What physical facilities will be needed ? What quantity of money will be called for ?

How sensitive to errors in the forecasts are the answers to these questions ? Do they depend crucially upon an assumed pattern of course enrollment ?

It is easy to pose the questions; it is difficult to answer them with the analytical techniques now available to educational planners. Let us suppose that a simulation model is available. It would be used in the following way.

Taking the forecasted enrollments as data, the model would compute the quantities of staff, money, and facilities required to handle the load. For each year of the simulation, the computer would present results in a form similar to the CAMPUS Administration Summary Report shown in Table 1 of the Appendix. Here the established total dollar magnitude of the departmental budgets are shown together with the needs for staff and physical facilities. For more detailed analysis, the computer would provide information similar to that contained in the CAMPUS departmental reports of which Table 2 of the Appendix is a specimen. The data shown in all tables and figures are purely illustrative.

The computations would be repeated with alternative assumptions about key factors such as the pattern of change in staff salaries, the distribution of students among the various faculties and courses, class sizes, rates of utilization of classrooms, etc. University operations would be simulated for the decade with a range of possible enrollment projections; this would illuminate the sensitivity of the results to errors in the projections.

To facilitate analysis, the simulation results could be displayed in graphic form similar to that of Figure 1 and Figure 2 of the Appendix. Here the computer output has been arranged by a CALCOMP plotter to ease analysis of the simulated decade's data.

Assisted by the simulation results for the coming decade, university planners and administrators should be able to make their decisions in cognizance of more and better information than is now possible.

(B) Resource Implications of Graduation Goals

Assume that manpower studies show requirements for certain numbers of graduates of various faculties and courses during the next decade.

Problem : What are the resource requirements of providing the graduates in the numbers needed ? What staff, facilities, and money will be required ? How sensitive are these requirements to changes in factors beyond control of the educational decision makers ? For certain graduation levels, what would be the incremental cost of additional graduates from the various faculties and courses ?

The problem differs from the one preceding in that graduation goals have replaced enrollment projections. Given data such as the passing and failing rates of the various courses of study, it is easy for the computer to convert graduation goals into the enrollments necessary to attain those goals. From here, the computation and analysis proceed identically, to that outlines above.

(C) Resource Implications of Alternative Campus Configurations

Consider a multi-campus university planning the development of a decentralized campus. The principle objective of the decentralized campus is to provide under-graduate liberal arts programs to students residing in close proximity to that campus. The argument is adduced that recruitment of qualified staff will be impossible without substantial provision for graduate instruction and research at the decentralized campus.

Problem : What are the resource implications of providing facilities for graduate instruction and research at the decentralized campus ? What alternative means of attracting staff exists ? How do the probable costs and effectiveness of the alternatives compare ?

The first step in analysing this problem would be to elaborate alternative ways of attracting and retaining staff. Two possibilities follow :

1. Raise staff salaries by a premium to compensate faculty members for lack of graduate students and research facilities.
2. Provide research facilities and graduate student teaching opportunities at the central campus. Time for work at the central campus would be provided to faculty members at the remote campus. Transportation from remote to central campus would be provided by the university.

Each of the alternatives would be translated into different sets of system parameters and activity levels. The simulation would be run for each set with unchanged values for all other parameters and activity levels of the university. Computed resource requirements of each alternative would appear in reports such as those illustrated in the Appendix. The simulation would be allowed to run for a substantial time period, e.g., ten or fifteen years. Time series could be prepared by the CALCOMP plotter on

1. Number and type of staff at the remote and central campuses.
2. Salary costs (based on forecasted competitive salary levels plus fringe benefits and any "compensatory premia".
3. Facility needs at the central and remote campuses including classrooms, laboratories, library space and reading rooms, offices, etc.
4. Capital construction costs based on type of building and local indexes of building costs.

With information about the estimated costs, university decision makers could juxtapose the probable effectiveness of each alternative. Other alternatives may be suggested by this cost/effectiveness analysis. The following "tradeoffs" can be examined :

1. Academic salaries versus research facilities and costs of low volume graduate training at the remote campuses.
2. Research and graduate instructional cost at the central campus versus analogous costs at the remote campus.

Finally, choice could be made by university decision-makers in the light of information provided by the cost/effectiveness analysis.

Obvious extensions of this sort of analysis are :

1. Study of the economics of specialization (or duplication) of programs among campuses or universities.

2. Study of the functional relationship between a program's level and its cost.

These two extensions could lead to a study of optimal campus size and optimal integration and co-ordination of several campuses (or universities) in a multi-campus university (or a national, state, or provincial university system).

(D) Resource Implications of Curriculum Alteration

Consider a university School of Medicine faced with the necessity of increasing its annual output of doctors from 125 to 250. Suppose, further, that major redesign of the medical curriculum is contemplated in order to take advantage of new medical knowledge and to accomodate the increased number of students. Clinical instruction now is to be organized jointly on a systematic (respiratory, circulatory, reproductive, etc.) and on a departmental (Surgery, Medicine, Paediatrics, etc.) basis. This represents a shift from a previous departmental orientation.

Several alternative ways are being considered of combining instruction in the basic medical sciences (Anatomy, Bacteriology, Biochemistry, etc.) with the clinical instruction.

1. Build a large integrated university medical complex which would include facilities for instruction in the basic and clinical sciences, research, and treatment of patients.
2. Build a basic science complex at the central university campus where medical students would receive instruction during their initial period in the School.
   Build facilities at existing metropolitan hospitals to provide clinical instruction.

Each of these broad alternatives embraces many alternatives within it. And each of the latter entails its associated resource requirements : How many and what kind of lecture rooms, examining rooms, study areas, teaching laboratories, autopsy facilities, locker rooms, teaching beds, etc. are required at each of the clinical schools ?

Answers to the questions posed above depend upon the number of students at each clinical school, the number of subjects that are taught, the size of clinical instruction groups, the degree of specialization of teaching at each clinical school, etc.

For simulation-assisted cost/benefit analysis to proceed, each alternative must be translated into an unambiguous set of parameter values - and, where necessary, into new equations and routines of the computer model.

From the simulation results, the implications for each department and teaching hospital of each alternative curriculum will be apparent. Departments outside the School of Medicine which service students of that School (e.g. Zoology) can appraise the effect on them by consideration of pages 2 and 3 of the Departmental Report (Appendix, Table 2).

III. The CAMPUS Model

The system simulation model can perform its task only by incorporating the essential structural features of the University. In fact, the model is but an embodiment of the most important inter-dependencies of the University. These are expressed via mathematical formulations of logical relationships between sets of independent variables which we call "system parameters" and "program levels", and sets of dependent variables representing resource requirements. The mathematical formulations are coded into the FORTRAN IV language for the IBM-7094. This is, of course, the computer program of the model.

III-1. A Parameterized Model

It is important to realize that the model's program is parameterized, i.e., that the program's variables are empty until numeric values are supplied to them. They are empty in the same sense that the variables A and B in equation (3.1) are empty until we supply numeric values to them.

$$X = A / B \qquad (3.1)$$

Knowing neither A nor B, we cannot know X. When values are supplied to A and B, we can easily compute the corresponding value for X. To illustrate : If A = 250 and B = 25, we see immediately that X = 10.

To illustrate further, suppose that we assign the following definitions to A, B, and X :

A - The total number of student-enrollees in second year honours lectures given in the Department of Geography during the academic year 1968-69.

B - The average number of students per lecture appropriate to second year honours classes given in the Department of Geography during the academic year 1968-69.

X - The computed number of second year honours lectures that the Department of Geography will need to provide in the academic year 1968-69.

The university system simulation model is programmed in such a way that very many parameterized equations such as (3.1) are first loaded into the computer's storage. This program has an existence prior to and independent of the numerical values that later may be assigned to its variables. It is form without substance.

After the program is in storage, punched cards or magnetic tape containing numerical values for the empty variables are read by the computer. The form is thus given a substance. Next, the program causes the computer to calculate the output variables resulting from the values read.

Continuing the example begun above, the computer would calculate X from the numerical values supplied for A and B. We would learn in this case, that the Department of Geography should plan to offer 10 second year honours lectures in 1968-69 if it is to sustain the teaching load placed upon it while adhering to an average second year honours lecture size of 25 students. The simulation model would not stop here. It would next multiply X by the average number of hours per week that second year Geography honours lectures should meet; the result would be the total number of weekly hours of lectures that the Geography staff members would be called upon to provide to the second year honours students. And so the computation goes for all departments in all faculties, all courses of study, all terms, all academic years included in the simulation, etc. The final result is the computed resource requirements corresponding to the activity levels and system parameters specified by the numeric values supplied to the program's parameters.

When the analysis of a certain problem demands it, the computations are repeated for numerous sets of numerical values for the program's variables. The result reveals the impact on output variables of changing certain activity levels or system parameters.

III-2. Structure of the Model

The scope of this paper precludes detailed presentation of the model itself. What follows is a schematic outline of the model's main parts and how they operate as a whole.

Figure 1

C.A.M.P.U.S.

COMPREHENSIVE ANALYTICAL METHOD
OF
PLANNING IN THE UNIVERSITY SPHERE

KEY TO FLOW DIAGRAM

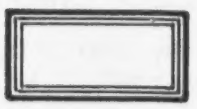
AGGREGATE FLOW OF PEOPLE

FLOW OF PEOPLE

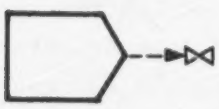
FLOW OF INFORMATION

FLOW OF MONEY

ACTION INDICATED


INPUT PARAMETER

OUTPUT PARAMETER


DECISION FUNCTION

EXOGENOUS SOURCE OR SINK

Office of Institutional Research
University of Toronto

Figure 2

UNDERGRADUATE

NEW STUDENTS - ENROLLEE POOLS - TEACHING HOURS

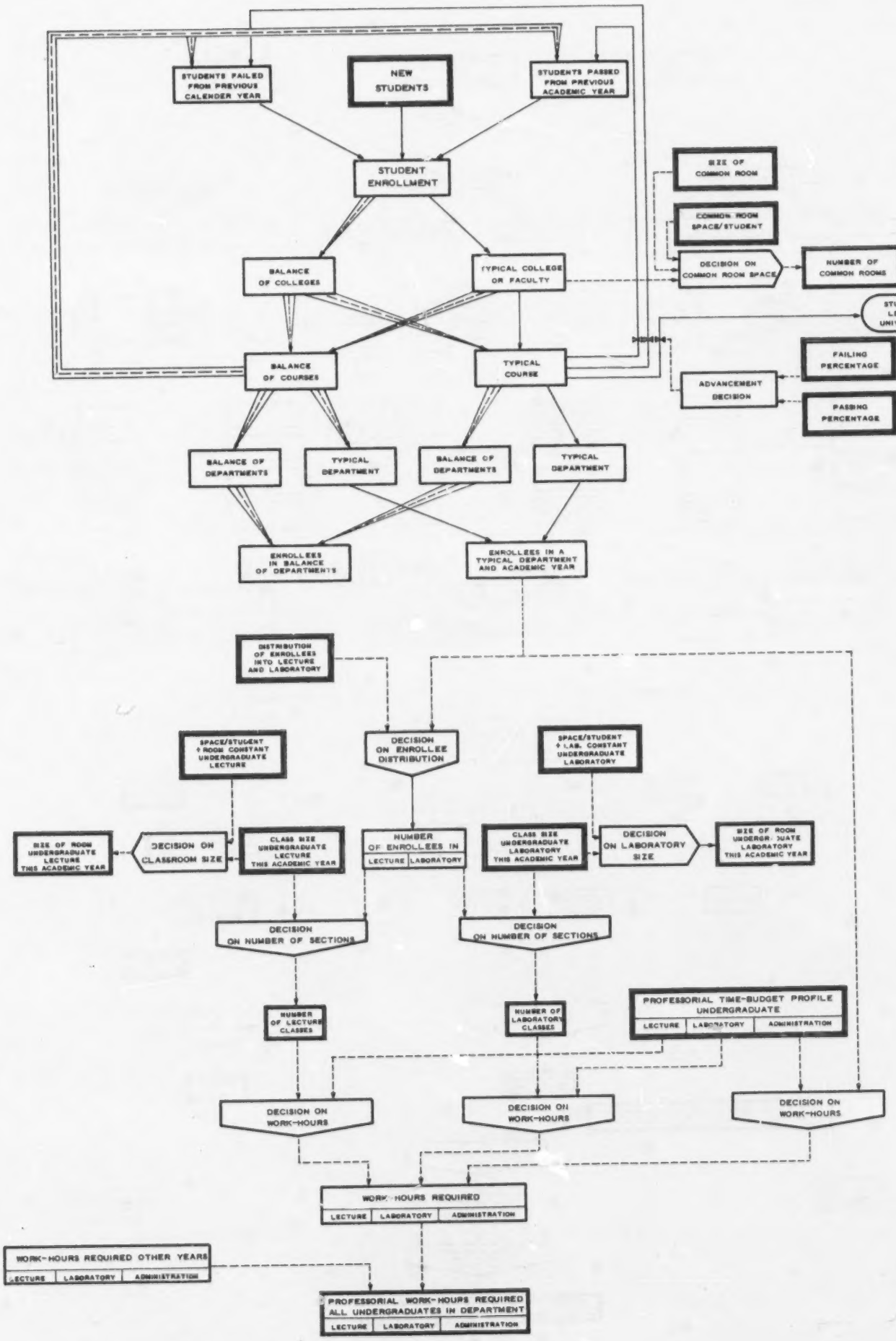


Figure 3

GRADUATE

DISTRIBUTION OF A STUDENT INTO ENROLLEES IN COURSE AND DEPARTMENT

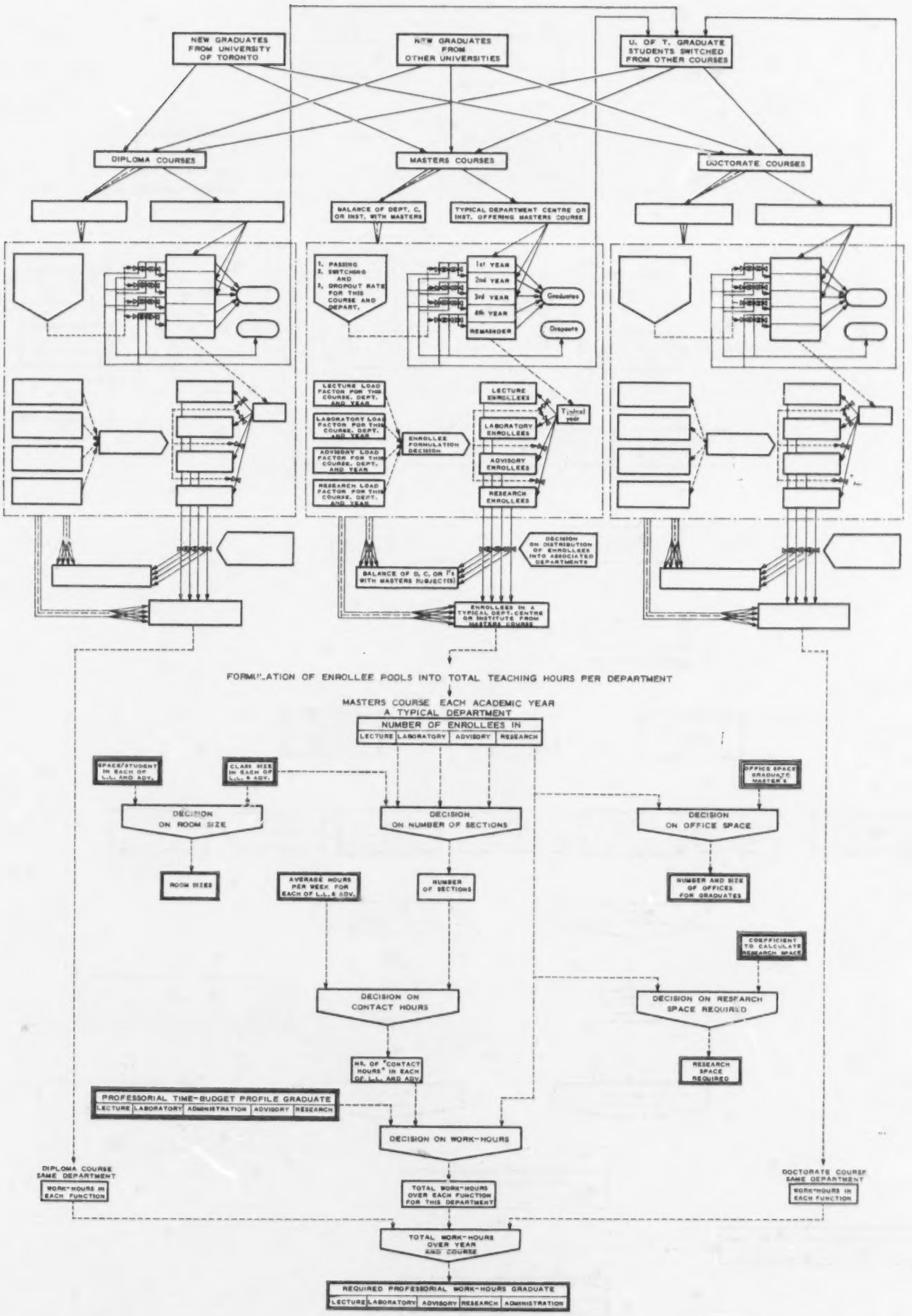
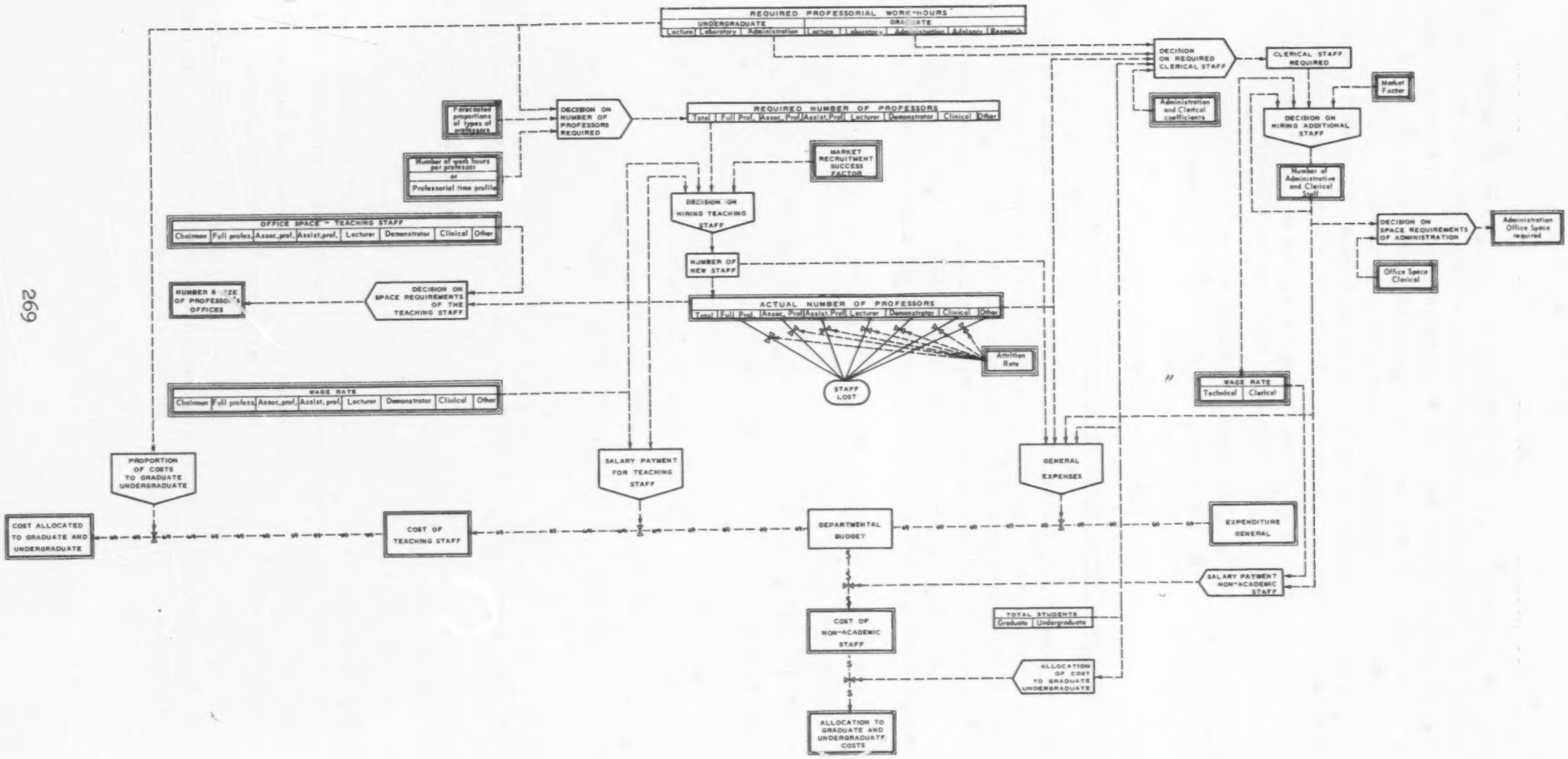


Figure 4

GRADUATE AND UNDERGRADUATE COMBINED

COSTS AND REQUIREMENTS FOR EACH DEPARTMENT



269

260

The general strategy of the model is to proceed from a statement of program levels (the number of honours B.S. degrees in physics, the number of Ph.D. degrees in political science, etc.) to a computation of the instructional, research and administrative workload of each department for each simulated year. From this the model proceeds to a calculation of the resources required to handle that workload.

The reader accustomed to reading flowcharts may find that the following figures 1 to 4 aid his understanding of the model's structure. Figure 1 presents a key to the symbols used in the flow diagrams. (8) (see footnotes at the end of the text).

The model is divided into four main sections as follows :

(A) Enrollment Formulation
(B) Resource Loading
(C) Space requirements
(D) Budgetary Calculations

(A) Enrollment Formulation Section

The enrollment formulation section bridges the top halves of Figure 2 (undergraduate) and Figure 3 (graduate). The main purpose of this section of the model is to compute the number of subject-enrollees requiring instruction in each academic year (or term), in the honours or pass course categories for each department in every faculty for all calendar years of the simulation. One important intermediate result produced is a summation of all subject-enrollees according to the following eight classifications :

1. By faculty of enrollee.
2. By college of enrollee.
3. By category of subject, i.s., honours or pass.
4. By term in which subject is offered, i.a., 1st, 2nd, etc.
5. Whether subject is a college or university offering.
6. By department in which subject is offered.
7. By course of study of enrollee.
8. By year of enrollee, i.e., 1st undergraduate, ..., 4th undergraduate, 1st graduate, ..., 4th graduate, ..., etc.

These outputs are provided for all calendar years of the simulation. To arrive at these outputs, numeric input values are needed for the following categories of variables :

1. The number of students in each of the eight categories listed above for the initial calendar year of the simulation.
2. The passing, failing, and attrition rates for each course of study in the University.
3. For each year of the simulation, the entering (or re-entering after an absence of one or more years) enrollment in each term of (a) each faculty and (b) each college.
4. If 3(b) is not given, the percentage distribution for each simulated year of new faculty enrollment in each term among the various colleges.
5. The new enrollment in each term of each course of study in each simulated year or, if this is not available, the percentage distribution of new enrollment in each college (within each faculty) among the various courses of study.

6. Teh average number of laboratory and lecture subjects taken by students in each course of study during each term for each simulated year. This figure multiplied by the number of students in each course produces the total number of laboratory and lecture enrollees generated by each course of study for each term for each simulated year.

7. The percentage distribution of the total number of laboratory and lecture enrollees in each term in each course between the honours and pass categories.

8. The percentage distribution of honours and pass laboratory and lecture enrollees in each term in each course among the various departments for each simulated year.

(B) Resource Loading Section

The Resource Loading Section of the model accepts as input the number of subject-enrollees requiring instruction in each department (from the Enrollment Formulation section) and numerical values for the departmental controllable variables. It produces as output a rather complete description of the staff requirements of each department, important departmental parameters not set by explicit decision, the number of sections of pass and honours lectures and laboratories, and so on.

Some key departmental controllable variables for which numeric values must be supplied are as follows :

9. The average number of students in honours and pass course lectures and laboratories in each term for each department.

10. The average teaching load per week per staff member in each department.

11. The anticipated percentage distribution of the professorial staff among the various ranks in each department.

12. The departmental academic administrative load as a function of students enrolled in each department.

13. The departmental clerical load as a function of the number of students enrolled in each department and of the number of staff members.

14. The aggregate size of teaching staff in each department. This is only required if 9. (above) is to be allowed to vary.

15. The percentage of staff teaching time allocated to honours and general (pass) course lectures and laboratories. This is required only if 9. (above) is to be allowed to vary.

(C) Space Requirements Section

With information received from the Resource Loading section, this section computes the space requirements for professorial offices, lecture rooms, laboratories, common rooms, administrative offices, etc. To perform these computations, the Space Requirements section requires numerical values for key variables such as the following :

16. The constant and coefficient term of a linear relationship between lecture and laboratory size and number of students in each department and term.

17. Common room space per student.

18. Office space required for each rank of teaching staff in each department.

(D) Budget Calculations

As its title suggests, this section models the computation of the departmental and faculty budgets. Information on staff requirements from the Resource Loading Section is combined with the following system variable values :

19. Forecasted salary and wage scales for each category and rank of staff for all faculties and departments for each simulated year.
20. The departmental requirements for apparatus and equipment, supplies, general expenses and other outlays as a function of the number of staff and students.

The twenty categories of activities and system parameters hardly exhaust the list of variables in the model. Combined with figures 2 - 4, they may serve to illustrate the structure of the model and the kinds of information that it uses and produces.

IV. Building and Operating a System Simulation Model

The purpose of this section is to outline the steps required to build and use a university system simulation model of the CAMPUS type. The results of the model's computations can be no better than the quality of (1) the mathematical formulation of the most important inter-dependencies of the university that are embodied in the model's program, and (2) the numerical values that are supplied to the model's independent variables at the time that the model is being used for analysis.

IV-1. Conceptual Specification of the Model

The first stage of model building is conceptual specification. To do this, the model builder must perceive and put to paper the most important inter-relations in the system being modeled. In the university system simulation model, it means, e.g., describing how total enrollment is transformed into departmental teaching loads, thence into staff requirements, thence into office, secretarial and administrative requirements. It means describing how demands for lecture halls, laboratories, seminar rooms and other physical facilities are generated.

The abstract description of the most important inter-relations in the university must be expressed in mathematical terms which can be represented as a parameterized computer model. The method of communicating with the computerized model must be planned; routines for altering activity levels and system parameters must be designed. Output reports must be laid out.

After the logic of the model has been represented as a computer program and the input and output routines arranged, the program is ready for testing on the computer. Errors of logic and programming must be discovered and corrected, a process known as "debugging".

IV-2. Determining Activity Levels and System Parameters

If we hope for useable results from the model, we must be concerned about the quality of input data. Among experienced information system designers there is a hallowed adage which warns; "Garbage in, Garbage out". The maxim is inelegant but full of truth. If dubious data are put into the system, reliable results cannot come out.

The quality of the numerical values assigned to the model's independent parameters is not the only concern. The model is to be used to help estimate and plan for the money, materials, and men that will be required to sustain various possible programs of university activities. It is intended to supply information to decision-makers that will aid them to make choices. Therefore, it is important that members of the university community who are involved with the various activities should be informed and, to an appropriate extent, exercise control over the values of those variables of the model which immediately affect "their" activities. Fairness and good organizational procedure demand that the faculties and departments be properly appraised of the ingredients of the model to the extent that those ingredients may affect them. To do otherwise would engender hostility to the model, suspicion of its results, and destruction of its usefulness.

We have adopted four general approaches to the problem of determining numeric values for variables :

(A) Estimation of existing or past values.
(B) Forecasts of future values.
(C) Specification by decision.
(D) Specification for experimental purposes.

To the extent that variables are noncontrollable, the problem of providing numerical values becomes one of forecasting. How much effort and treasure should be expended on the forecasting depends upon the degree to which the University's resource requirements are sensitive to the accuracy of the forecasts. The degree of this sensitivity is one of the things the model is designed to explore.

To the extent that variables are controllable, the determination of their proper numerical values depends upon the decisions of the competent officers of the University. The role of the model-builder-maintainer is to make the transition from accomplished decisions to the resulting numerical values for affected variables. It should also be to aid the decision-maker by accepting from the latter alternative values of controllable variables in order to make cost/effectiveness studies of the resource implications of the choices being considered by the decision-maker.

(1) A System of Variable Affirmation

We envision two levels of formality in using the CAMPUS model. The first is a formal use for purposes of budgetary and physical planning. Studies of this nature, done for the President's Vice-President's offices, the Board of Governors, or interested governmental offices, will employ a thoroughly coordinated and affirmed set of numerical values for controllable variables. The second, more informal, level of use embraces experimental work within the University.

For formal use, the noncontrollable variables whose values can be determined with certainty receive the best estimates possible. The uncertain noncontrollable variables, e.g., the many items listed above under the Enrollment Formulation section, would receive estimates with ranges within which they might reasonably be expected to vary; in many cases it is possible to estimate the probability distribution of the values in the range.

Values for the controllable variables are determined in accordance with the established decision-making procedure. For example, the key departmental variables for each department will be subject to proposal, review, and approval much as are the entries in existing departmental budgets. We plan a document containing all of the key departmental variables concerning a given department; it will periodically inform its reader of the values of those

variables which currently are in the model and it will provide for space for proposed revisions of those values. Once approved by the proper authorities, the revisions will be introduced into the model.

All of the numerical values appropriate to the model's formal use are to be maintained on a permanent data storage medium and will be changed only in accordance with the proper procedure. The affirmed values of those variables open to general scrutiny may be published and distributed to interested parties. The values of variables of a more privileged character will be made available to those with a need to know them.

For informal, experimental, use, the date of the formal set serves as a point of departure. If, for example, the Department of Geography wishes to examine the resource implications of an altered Geography honours curriculum, suitable numerical values model. The result is the calculated requirements of staff, facilities, and money to sustain the various alternatives being considered. For experimental uses, the values of those variables not affected by the experiment would remain unchanged from their affirmed values.

(2) Treating Uncertainty

Some uncertainty is likely to surround certain system parameters and activity levels. This uncertainty will be the result of imperfect estimation and projection, and of the randomness of certain variables, e.g., applications for enrollment in various courses and the popularity of certain subjects. One of the advantages of a university simulation model is that it allows university administrators to come to grips with the problem of uncertainty.

(a) Monte Carlo techniques. As mentioned above it is possible to establish probability distributions for the values of some parameters and activity levels. Where this is so, the use of Monte Carlo techniques is feasible. Taking advantage of the computer's rapid speed, the simulation will be allowed to run repeatedly while probabilistic variables take on ranges of values. The result will be a frequency distribution of resource requirements which will inform university administrators of the range over which those requirements can be expected to vary and provide estimates of their probability distributions.

(b) Sensitivity analysis. Where Monte Carlo techniques are inappropriate, the simulation model can be used to determine the degree to which resource requirements are sensitive to variations in the values of uncertain parameters and activity levels. Those values may be allowed to vary over a predetermined range while the model computes the corresponding resource requirements. The results should allow university planners to judge the sensitivity of their plans to such variations and to calculate the value of reducing the uncertainty where it is possible to do so. It should also help to avoid unpleasant surprises by helping planners to avoid plans that are sensitive to capricious variation in system parameters and activity levels. Where it is impossible entirely to avoid sensitive plans, the model should assist planners to prepare contingency plans for "insurance".

IV-3. Maintaining and Improving the Simulation Model

After the first version of the university simulation model has been put to use, it will be necessary to maintain and improve it. Estimates and forecasts of system parameters and activity levels must be updated. (9) (see footnotes at the end of the text). Even the logical design of the model should evolve as deficiences are identified and innovations made; modifications of the university organization will necessitate appropriate modification of the model.

Increasingly, modern universities are using automatic data processing systems in such applications as payroll accounting, students' records, maintenance scheduling, etc. Manual methods are used in a variety of other tasks of planning and record keeping throughout the university. A characteristic of the simulation model is that it uses data from many of these automatic and manual information systems of the university. It brings these diverse data together into a coherent structure useful for top-level administrative analysis. Without the model, it is likely that these data from disparate records would remain disparate rather than co-ordinated.

A university that uses a simulation model should have arrangements for the orderly and systematic inflow of data from the diverse record keeping and data processing systems in the organization. The office responsible for the model should receive these data and incorporate them as required into the model. By thus providing for the receipt of data as a by-product of other information systems, the maintenance of the model may be made as painless as possible. The necessity for special reports and data gathering forays should be minimized. (10) (see footnotes at the end of the text).

Implicit in these suggestions is the assumption that there will be a headquarters in the university charged with the duties of maintaining and improving the model and of assisting the university decision-makers in its use. This headquarters should be located at a high administrative level in the university and should be staffed with sufficient analytical talent to ensure that the model is used to meet best the needs of the university planners and administrators.

FOOTNOTES

(1) Williams, Harry, Planning for Effective Resource Allocation in Universities, Washington, D.C., American Council on Education, 1966, pp. 15-16

(2) Some of the early works were : Kelly, Fred J. : "Adequate Cost Analysis as a Basis for Budget Making", Journal of Educational Research, May, 1923 pp. 414-419; Stevens, E.B. and Edward C. Elliott, Unit Costs of Higher Education, New York, Macmillan, 1925; Reeves, Flyod W., Nelson B. Henry and John Dale Russell, Class Size and University Costs, Vol. XI of The University of Chicago Survey, Chicago, University of Chicago Press, 1935. For a good bibliography of this early literature, see Miller, James L. Jr., State Budgeting for Higher Education, Institute of Public Administration, Ann Arbor Mich., University of Michigan Press, 1964, pp. 14-16

(3) An Analysis of the Budgets of the Colorado State-Supported Institutions of Higher Education, The Association of State-Supported Institutions of Higher Education in Colorado, Denver, Colorado, published annually since 1959; New Mexico Board of Educational Finance, Analysis of Institutional Operating Budgets, New Mexico Board of Educational Finance, Santa Fe, New Mexico, published annually since 1963; Carroll, A.J., Medical College Costs, A Program Cost Finding System, Evanston, Illinois, Association of American Medical Colleges, 1965; Russell, John Dale, and Doi, James I. "Analysis of Institutional Expenditures", (a series of twelve articles), College and University Business, monthly from September 1955 to August 1956; Miller James L. Jr., State Budgeting for Higher Education, Institute of Public Administration, Ann Arbor, Mich., University of Michigan Press, 1964.

(4) See, for example, the following : Burkhead, Jessie, Government Budgeting, New York, John Wiley & Sons, 1956; Hitch, Charles J., and McKean, Roland N., The Economics of Defense in the Nuclear Age, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1960; Novick, David, (ed.) Program Budgeting, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1965; Smithies Arthur, The Budgetary Process in the United States, New York, McGraw-Hill, 1955.

(5) Smithies, Arthur, A Conceptual Framework for the Program Budget, RM-4271-RC Santa Monica, California, RAND Corporation, September, 1964, p. 1.

(6) Williams, Harry, Planning for Effective Resource Allocation in Universities, Washington, D.C., American Council on Education, 1966, p. 15

(7) Judy, Richard W. and Jack B. Levine, A New Tool for Educational Administrators, Toronto, Ontario, The University of Toronto Press, 1965. See also Financing Higher Education in Canada, the Association of Universities and Colleges of Canada, Toronto, Ontario, The University of Toronto Press, 1965, pp. 87-90.

(8) The symbols used are modifications of those suggested by Jay W. Forrester in his Industrial Dynamics, Cambridge, Mass., the M.I.T. Press, 1961

(9) See Judy, Richard W., Sources of Numeric Parameter Values for CAMPUS, OIR-3, Office of Institutional Research, University of Toronto, Toronto, 1966.

(10) See Calhoun, John C. and Don. F. Morrison, A Report on Total Information Systems for Colleges and Universities, (mimeograph), Texas A & M University, undated.

TABLE 1

UNIVERSITY OF TORONTO

C.A.M.P.U.S. SIMULATION PLANNING ANALYSIS

ADMINISTRATION SUMMARY REPORT

TERM 1966-67

DEPARTMENTAL BUDGETS

ACADEMIC SALARIES	$ 1495800.00
NON-ACADEMIC SALARIES	$ 229600.00
MISCELLANEOUS EXPENSES	$ 319800.00
TOTAL	$ 2045200.00
ASSISTED RESEARCH FUNDS	$ 1126500.00

ACADEMIC STAFF

DEPARTMENTAL CHAIRMAN	$ 221000.00	$ 13000.00	17
FULL PROFESSOR	$ 430500.00	$ 10500.00	41
ASSOCIATE PROFESSOR	$ 461100.00	$ 8700.00	53
ASSISTANT PROFESSOR	$ 227200.00	$ 7100.00	32
LECTURER	$ 156000.00	$ 3900.00	40
TOTAL	$1495800.00		183

PHYSICAL FACILITIES

	STUDENT (SQ. FT.-HRS.) REQUIRED	ACTUAL	PCT. USE
LECTURE	565000.	941000.	60.
LABORATORY	310000.	675000.	46.
STUDY SPACE	186000.	150000.	124.

	STAFF (SQ. FT.) REQUIRED	ACTUAL	PCT. USE
PROFESSORIAL	193500.	206000.	94.
CLERICAL	16000.	21000.	75.
ADMINISTRATIVE	69000.	69000.	100.

STUDENT ENROLLMENT GRADUATE

I	HONOURS	4693
	PASS	7485
II	HONOURS	3665
	PASS	6621
III	HONOURS	3214
	PASS	5891
IV	HONOURS	2966
MASTERS		2153
PH. D.		508

UNDERGRADUATE

HONOURS	2760
PASS	5435

POST-GRADUATE

MASTERS	901
PH.D.	267

TABLE 2

UNIVERSITY OF TORONTO

C.A.M.P.U.S. SIMULATION PLANNING ANALYSIS

DEPARTMENT OF ZOOLOGY REPORT

TERM 1966-67

DEPARTMENTAL BUDGET

ACADEMIC SALARIES	$ 132889.95
NON-ACADEMIC SALARIES	$ 40170.72
MISCELLANEOUS EXPENSES	$ 11312.50
TOTAL	$ 184373.17
ASSISTED RESEARCH FUNDS	$ 48375.00

ACADEMIC STAFF

	TOTAL SALARIES	AVERAGE SALARY	PERSONNEL
DEPARTMENTAL CHAIRMAN	$ 20569.15	$ 20569.15	1
FULL PROFESSOR	$ 29822.22	$ 14911.11	2
ASSOCIATE PROFESSOR	$ 56102.00	$ 11220.40	5
ASSISTANT PROFESSOR	$ 26396.58	$ 8798.86	3
LECTURER	$ 0.00	$ 0.00	0
TOTAL	$ 132889.95		11

270

DEPARTMENTAL BUDGET

UNDERGRADUATE		GRADUATE	
ACADEMIC SALARIES	$ 81453.95	ACADEMIC SALARIES	$ 51436.00
NON-ACADEMIC SALARIES	$ 29271.30	NON-ACADEMIC SALARIES	$ 10899.42
MISCELLANEOUS EXPENSES	$ 7207.00	MISCELLANEOUS EXPENSES	$ 4105.50
		ASSISTED RESEARCH FUNDS	$ 48375.00
TOTAL	$ 117932.25	TOTAL	$114815.92

TABLE 2 cont.

ACADEMIC YEAR	CLASS SIZE (STUDENTS PER CLASS)				STUDENT ENROLLMENT			
	LECTURE		LABORATORY		LECTURE		LABORATORY	
	HONOUR	PASS	HONOUR	PASS	HONOUR	PASS	HONOUR	PASS
UNDERGRADUATE								
1	125.0	150.0	60.0	75.0	147.9	744.8	37.0	186.2
2	80.0	125.0	40.0	60.0	74.0	47.5	18.5	11.9
3	75.0	80.0	35.0	40.0	208.3	545.5	52.1	136.4
4	15.0	0.0	15.0	0.0	192.3	0.0	48.1	0.0
DIPLOMA	10.0		8.0		42.0		17.0	
MASTERS	9.0		7.0		107.0		43.0	
PHD	9.0		5.0		84.0		19.0	

ASSOCIATED COURSES OF THE ZOOLOGY DEPARTMENT

COURSE	UNDERGRADUATE							
	TOTAL STUDENTS	ENROLLEE LOAD	TOTAL STUDENTS	ENROLLEE LOAD	TOTAL STUDENTS	ENROLLEE LOAD	TOTAL STUDENTS	ENROLLEE LOAD
	I		II		III		IV	
GENERAL SCIENCE	334	715	296	48	192	473	0	0
GENERAL	857	216	1150	11	917	209	0	0
LIFE SCIENCES	43	103	37	47	32	157	30	102
BIOL. & MED. SCIENCES	38	52	34	31	27	72	33	74
MATH. & PHYSICS	112	30	80	14	65	31	59	64

TABLE 2 cont.

ASSOCIATED COURSES OF THE ZOOLOGY DEPARTMENT

COURSE	TOTAL STUDENTS	ENROLLEE LOAD
DIPLOMA		
ZOOLOGY	28	71
MEDICAL BIOPHYSICS	10	8
BIOCHEMISTRY	7	3
MASTER		
ZOOLOGY	22	63
ANATOMY	2	1
MEDICAL BIOPHYSICS	4	1
CHEMISTRY	19	3
PHYSIOLOGY	1	1
PHD		
ZOOLOGY	40	91
ANATOMY	2	1
BIOCHEMISTRY	7	2
MEDICAL BIOPHYSICS	23	5
PHYSIOLOGY	5	2

TABLE 2 concl.

PHYSICAL FACILITIES

	STUDENT (SQ. FT.-HRS.)				STAFF (SQ. FT.)		
	REQUIRED	ACTUAL	PCT. USE		REQUIRED	ACTUAL	PCT. USE
LECTURE	129300	179583	72	PROFESSORIAL	41310	44419	93
LABORATORY	84620	124441	68	CLERICAL	4100	5395	76
STUDY SPACE	15000	12500	120	ADMINISTRATIVE	9000	9474	95

SPACE REQUIREMENT DISTRIBUTION

LECTURE ROOMS			LABORATORY ROOMS		
SIZE (SQ. FT.)		NUMBER	SIZE (SQ. FT.)		NUMBER
0 TO	250	12.0	0 TO	500	0.0
250 TO	500	5.3	500 TO	1000	4.8
500 TO	750	9.0	1000 TO	1500	0.0
750 TO	1000	8.0	1500 TO	2000	3.5
1000 TO	1250	0.0	2000 TO	2500	11.2
1250 TO	1500	0.0	2500 TO	3000	12.0
1500 TO	1750	0.0	3000 TO	3500	0.0
1750 TO	2000	0.0	3500 TO	4000	0.0
2000 TO	2250	0.0	4000 TO	4500	0.0

TABLE 3

UNIVERSITY OF TORONTO

C.A.M.P.U.S. SIMULATION PLANNING ANALYSIS

COURSE - LIFE SCIENCES
GIVEN IN THE FACULTY OF ARTS AND SCIENCE

TERM 1966-67

DEPARTMENT

COSTS ASSEMBLED FROM ZOOLOGY, CHEMISTRY, GERMAN, PHYSICS, BOTANY

ACADEMIC YEAR

	I	II	III	IV	TOTAL
TOTAL NUMBER OF STUDENTS	43	37	32	30	142
TOTAL COST - ACADEMIC SALARIES	$ 50,712.	$ 54,361	$ 55,123.	$ 57,236.	$ 217,432.
NON-ACADEMIC SALARIES	$ 17,273.	$ 16,112.	$ 14,039.	$ 10,188.	$ 57,612.
MISCELLANEOUS EXPENSES	$ 3,637.	$ 4,512.	$ 5,231.	$ 5,996.	$ 19,376.
ASSISTED RESEARCH	$ 00.	$ 00.	$ 00.	$ 00.	$ 00.
TOTAL	$ 71,622.	$ 74,985.	$ 74,393.	$ 73,420.	$ 294,420.

ACADEMIC YEAR

	I	II	III	IV	TOTAL
COST PER STUDENT	$ 1,666.	$ 2,027.	$ 2,325.	$ 2,447.	$ 2,073.

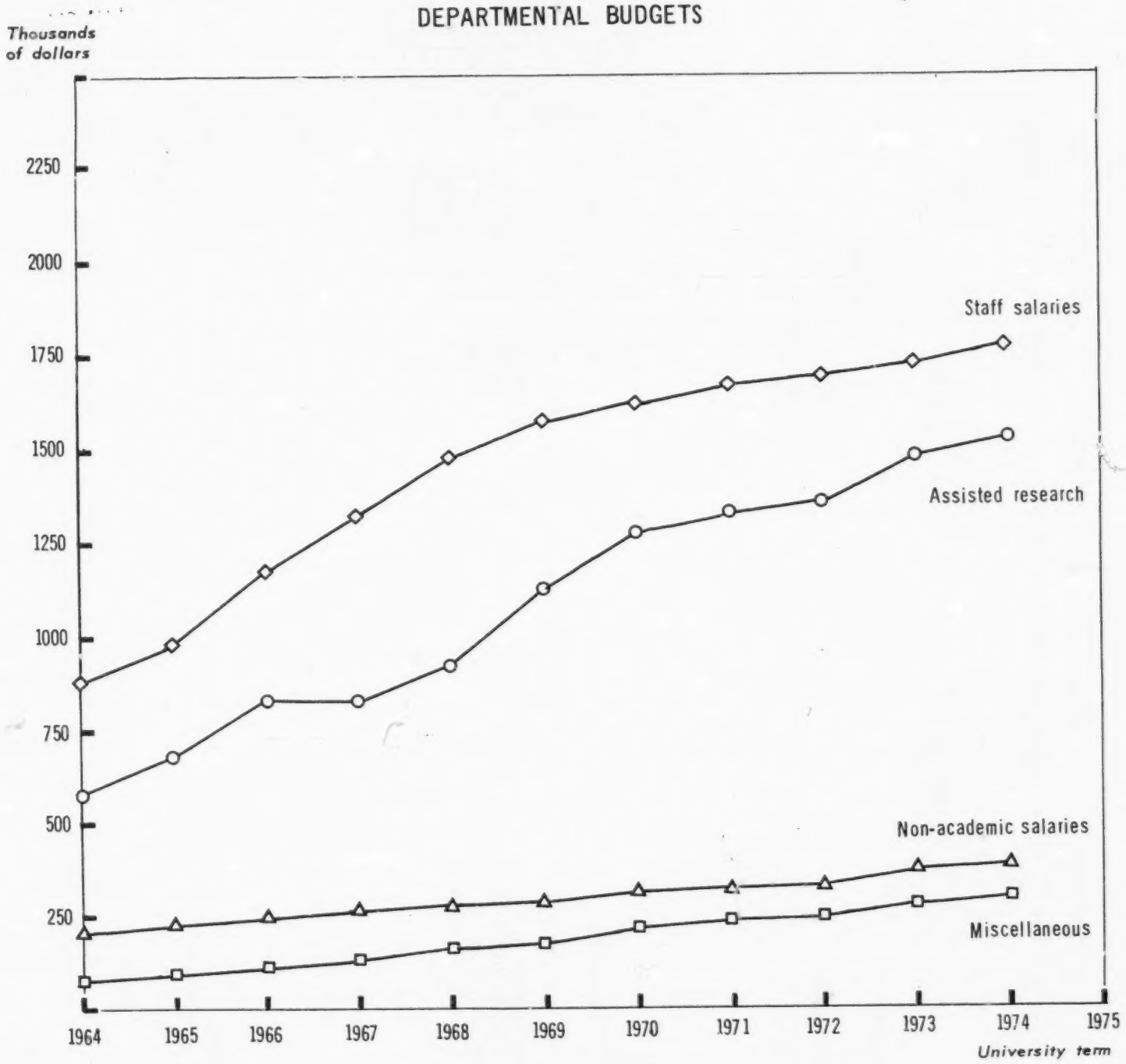
UNIVERSITY OF TORONTO

C.A.M.P.U.S. SIMULATION PLANNING ANALYSIS

ADMINISTRATIVE SUMMARY REPORT

Figure 1

DEPARTMENTAL BUDGETS



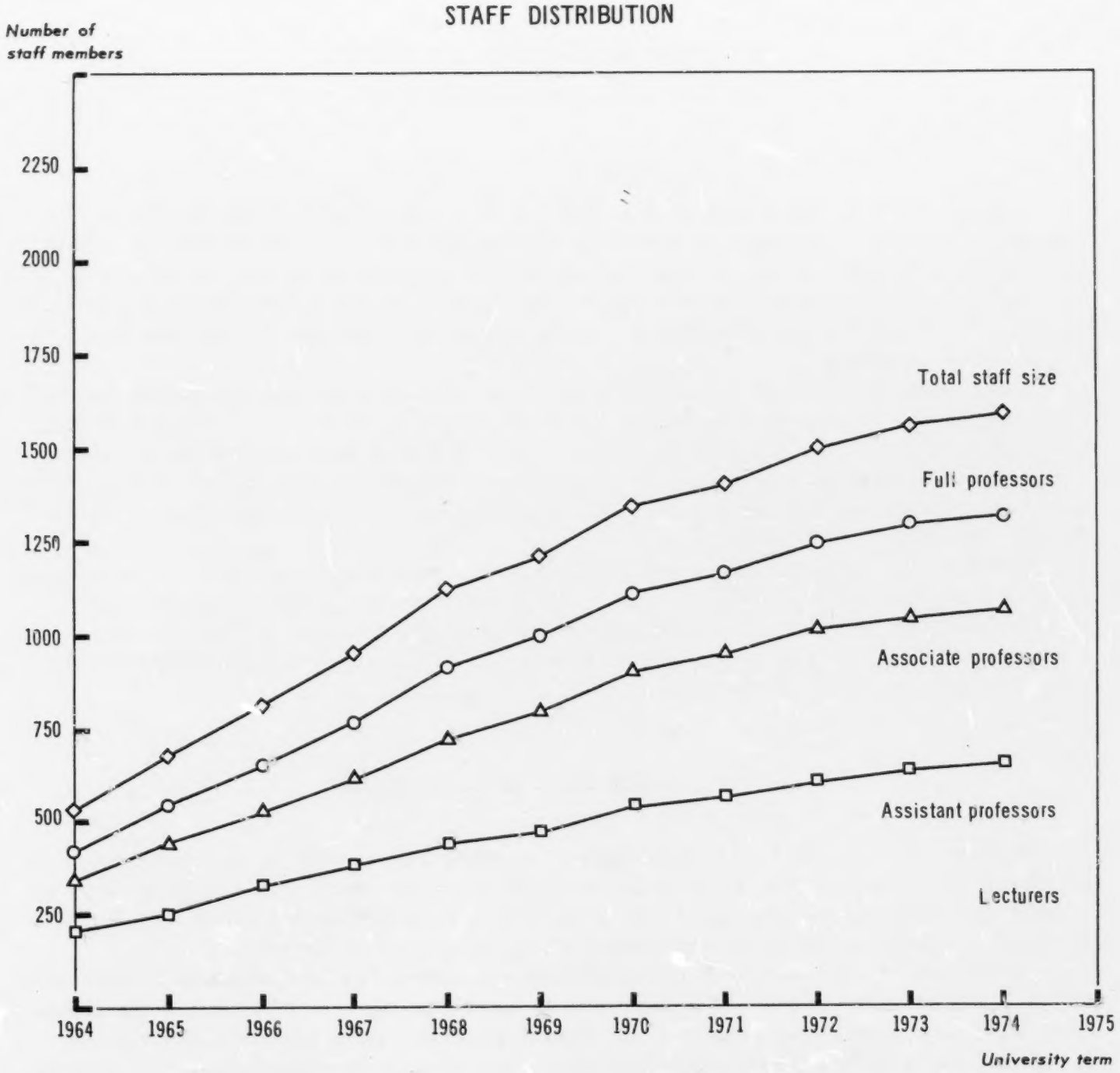
UNIVERSITY OF TORONTO

C.A.M.P.U.S. SIMULATION PLANNING ANALYSIS

ADMINISTRATIVE SUMMARY REPORT

Figure 2

STAFF DISTRIBUTION



RESUME

SIMULATION ET ALLOCATION RATIONNELLE
DES RESSOURCES DANS LES UNIVERSITES

L'allocation des ressources dans le domaine de l'enseignement, comme ailleurs, requiert : (1) l'établissement d'objectifs, (2) l'élaboration d'alternatives, (3) l'évaluation de leurs coûts et de leurs avantages, et (4) le choix entre les solutions possibles. En tant qu'économistes, nous prenons pour hypothèse que le but ultime est de maximiser une fonction des objectifs en tenant compte de toutes les contraintes qui peuvent être imposées.

Cette formulation du problème de l'allocation des ressources est suffisamment générale pour être applicable à l'ensemble du système scolaire, ou à l'un ou l'autre de ses sous-ensembles. Il n'y a pas l'ombre d'un doute que des décisions importantes continuent d'être prises à tous les niveaux de nos systèmes d'enseignement sans objectifs bien définis, sans connaissance des nombreuses alternatives et sans aucun renseignement sur les conséquences probables de divers choix.

La tâche des économistes, des analystes des systèmes, des spécialistes de la recherche opérationnelle est d'aider ceux qui prennent les décisions à identifier les alternatives et à en évaluer les coûts probables et les avantages respectifs. La tâche de confronter les coûts et avantages de ces alternatives ainsi que de choisir entre elles, doit rester la responsabilité des décideurs habilités à le faire.

II. L'Université en tant que système

On peut concevoir une université comme un système dont le rôle est la production, la préservation, la mise à jour et la propagation de la connaissance. D'une façon plus simple, on peut dire d'une université que c'est un système qui transforme des inputs en outputs. Le tableau 3 présente une liste représentative de ces inputs et outputs.

Il est loin d'être suffisant, cependant, de considérer que le système de l'université est tout bonnement une sorte de "chambre noire" qui d'une façon ou d'une autre transforme des inputs en outputs. Pour découvrir les inputs qui sont requis pour la production de séries données d'outputs, nous devons explorer les fonctions de transformation du système. Ces fonctions mettent en cause de nombreux paramètres du système, dont les paramètres liés aux divers programmes d'études, par exemple : matières fondamentales, matières facultatives, nombre d'heures d'enseignement par matière, heures de laboratoire et de cours par semaine, obligations de lectures imposées aux étudiants, taux de réussite et taux d'échec. D'autres paramètres sont liés aux politiques pédagogiques des facultés, par exemple : charge d'enseignement par enseignant, dimensions des salles de classe, importance attachée à la recherche, espace de bureau pour chaque enseignant, distribution des enseignants par grade, tâches administratives et de comités, aide fournie par les employés de bureau et les secrétaires, et traitements.

Tableau 3

Inputs et outputs du système de l'université

Inputs	Outputs
Etudiants nouvellement inscrits et réinscrits	Diplômés provenant des différents programmes d'enseignement suivant que ces programmes conduisent ou non à un diplôme.
Temps que les enseignants consacrent aux cours	Echecs et abandons.
Temps consacré à des tâches administratives	Travaux de recherche achevés et publications dans divers domaines
Temps consacré à la fonction de conseiller des étudiants	Progrès professionnels du personnel enseignant
Temps consacré aux services de bibliothèque et aux autres services de conservation et de mise à jour des renseignements	Documentation rassemblée (par écrit et sous forme d'autres média)
Ensemble des installations (amphithéâtres, laboratoires, bureaux, bibliothèques, résidences, etc.)	Services publics rendus
Conservation des livres, périodiques, documents et des autres média d'information	Divers
Entretien Equipement Fournitures Moyens électroniques (ordinateurs) Voyages Divers	

D'autres paramètres traduisent l'espace dont chaque étudiant dispose sous forme d'amphithéâtres, de laboratoires, et de salles communes, les avantages sous forme de pension et les avantages financiers annexes, les pratiques de promotion, le taux de recrutement et de remplacement du corps enseignant, les moyens électroniques par étudiant et par enseignant dans différents domaines, les moyens administratifs par étudiant et par enseignant, etc. Cette liste qui est loin d'être exhaustive sert à expliquer les types de paramètres d'après lesquels le système de l'université doit être décrit.

II-1. Un modèle de simulation du système

En décembre 1964, la "Commission on the Financing of Higher Education" du Canada a commandité une étude-pilote visant à étudier la fiabilité d'un modèle de simulation du système d'une université. Ce modèle était destiné à imiter ou à simuler les réactions réciproques des niveaux d'activité output, des paramètres du système et des inputs de ressources dans le système de l'université. Le modèle accepte les spécifications de divers niveaux d'activité, paramètres du système et variables incontrôlables; il évalue au moyen d'un ordinateur les quantités d'input de ressources nécessaires à la réalisation de programmes spécifiques. Ce modèle pilote, couronné de succès, a été conçu par la Faculté des Arts et des Sciences de l'Université de Toronto. Sous le sigle CAMPUS (Comprehensive Analytical Model for Planning in the University Sphere), cette première tentative a été décrite dans un rapport adressé à la "Commission on the Financing of Higher Education" du Canada.

Les sections qui suivent, examinent les diverses manières dont un modèle de simulation d'une université peut être utilisé, les types de rapports par ordinateur produits par le modèle, la structure du modèle et les problèmes que posent sa réalisation et son fonctionnement.

II-2. Utilisation d'un modèle de simulation pour la gestion de l'université

Quel est le champ d'un modèle de simulation du système d'une université ? En quoi est-il utile ? Comment peut-il être employé ? Cette section entend suggérer des réponses à ces questions sur la base de problèmes concrets et en montrant l'utilité du modèle pour leur analyse. Pour chacun des problèmes examinés, il s'agit d'évaluer les implications des divers programmes sur les ressources, ou les modifications qu'ils provoqueront dans le système même de l'université.

(A) Implication des projections du nombre d'étudiants sur les ressources

Hypothèse : Des prévisions sur le nombre d'étudiants pour la décennie à venir sont disponibles. Elles se rapportent aux effectifs totaux de l'université; elles ne sont pas désagrégées au niveau des cours spécifiques.

Problème : Quelles sont les implications de ces prévisions du nombre d'étudiants pour les ressources ? Combien de professeurs dotés de telles ou telles qualifications seront nécessaires ? Quelles installations matérielles faudra-t-il ? Quelle somme d'argent faudra-t-il mobiliser ?

Dans quelle mesure les réponses à ces questions sont-elles sensibles aux erreurs de prévision ? Dépendent-elles de façon cruciale d'un schéma présupposé des inscriptions aux différents cours ?

Il est facile de poser les questions; il est difficile d'y répondre sur la base des techniques d'analyse dont disposent à présent les planificateurs de l'enseignement. Supposons qu'un modèle de simulation soit disponible; voici comment on l'utiliserait.

Prenant pour données les prévisions du nombre d'étudiants, le modèle calculerait le nombre d'enseignants, les moyens financiers et les installations nécessaires pour répondre à cette "charge". Pour chaque année couverte par la simulation, l'ordinateur présenterait les résultats sous une forme similaire à celle du CAMPUS - Résumé du Rapport pour l'administration (voir Tableau 1 en annexe). Dans ce cas, l'évaluation totale en dollars des budgets par département est indiquée en même temps que les besoins en enseignants et en installations. Si l'on désirait une analyse plus détaillée, l'ordinateur pourrait fournir

des renseignements similaires à ceux qui se trouvent dans les "Rapports par département" du CAMPUS. Le Tableau 2 en Annexe en est un exemple. Les données et les chiffres qui apparaissent sur ces tableaux y figurent uniquement à titre d'exemple.

Les calculs seraient répétés sur la base d'hypothèses différentes concernant les facteurs fondamentaux, tels que : limites de variation des salaires des enseignants, distribution des étudiants entre les diverses facultés et cours, dimensions et taux d'utilisation des salles de classe, etc. Les opérations de l'Université devraient être simulées pour une période de dix ans sur la base d'une série de projections possibles du nombre d'étudiants; ceci montrerait, en particulier, la sensibilité des résultats aux erreurs de projection.

Afin de faciliter l'analyse, les résultats de la simulation pourraient être représentés sous une forme graphique comme le font les figures 1 et 2 de l'Annexe. Sur ces graphiques, l'output de l'ordinateur a été présenté au moyen d'un abaque CALCOMP, pour faciliter l'analyse des données simulées sur une période de dix ans.

Disposant des résultats de la simulation pour la décennie à venir, les planificateurs et les administrateurs del'université devraient être en mesure de prendre leurs décisions, armés d'une connaissance plus étendue et plus approfondie qu'à l'heure actuelle.

(B) Implications sur les ressources des objectifs quant au nombre de diplômés

Hypothèse : Des études de main-d'oeuvre montrent les besoins en diplômés issus des diverses facultés et types d'études pendant la prochaine décennie.

Problème : Quelles sont les ressources nécessaires pour fournir les diplômés requis ? Combien d'enseignants, quelles installations et quels moyens financiers sont nécessaires ? Dans quelle mesure ces besoins seront-ils sensibles aux changements dans les facteurs qui échappent au contrôle des décideurs en matière d'enseignement ? Etant donné un certain niveau du nombre des diplômés, quel coût additionnel faudrait-il envisager pour que les diverses facultés et types d'études produisent un nombre plus élevé de diplômés ?

Ce problème diffère du précédent en ce que les objectifs du nombre des diplômés remplacent les projections sur l'effectif des étudiants. Disposant de données telles que les taux de réussite et d'échec au sein des divers cycles d'études, il est facile pour l'ordinateur de convertir les objectifs concernant le nombre des diplômés en nombre d'étudiants nécessaires pour atteindre ces objectifs. A ce point, calcul et analyse se déroulent suivant le schéma précédent.

(C) Implications pour les ressources de divers types de campus

Considérons qu'une université composée de plusieurs campus envisage l'établissement d'un campus décentralisé. L'objectif principal du campus décentralisé est d'assurer des programmes d'études littéraires du niveau "inférieur au premier diplôme" aux étudiants qui résident à proximité de ce campus. L'opinion est alors émise que le recrutement d'un personnel qualifié sera impossible si l'on ne prévoit pas d'organiser enseignement et recherche au niveau "diplôme" sur ce campus décentralisé.

Problème : Quelles implications pour les ressources la mise en place sur le campus décentralisé de moyens d'enseignement et de recherche au niveau "diplôme" comporte-t-elle ? Y-a-t-il d'autres moyens pour attirer du personnel enseignant ? Quels sont les coûts et rendements probables des diverses options ?

Le premier pas dans l'analyse de ce problème serait de mettre au point différentes solutions pour attirer des enseignants et les conserver. Voici deux possibilités.

1. Augmenter les salaires des enseignants en offrant une prime qui compensera pour les professeurs de la Faculté le manque d'étudiants au niveau "diplôme", et d'installations de recherche.

2. Fournir des moyens de recherche et des possibilités d'enseigner à des étudiants au niveau "diplôme" sur le campus central. Le campus éloigné accorderait aux professeurs de la Faculté le temps nécessaire pour remplir leurs obligations sur le campus central. Quant au transport à partir du campus éloigné jusqu'au campus central, il serait fourni par l'Université.

Chacune de ces options devrait être traduite sous forme de séries différentes de paramètres et de niveaux d'activité du système. La simulation ferait l'objet d'un passage pour chaque série, sans modifier les valeurs de tous les autres paramètres et niveaux d'activité de l'Université. Les besoins en ressources calculés pour chaque option apparaîtraient sous forme de rapports tels que ceux qui figurent en Annexe. La simulation couvrirait une période assez longue - par exemple dix ou quinze ans. Les séries chronologiques pourraient être préparées par l'abaque CALCOMP sous les rubriques suivantes :

1. Nombre et catégorie d'enseignants affectés aux campus éloignés et au campus central.

2. Coûts des traitements (calculés sur la base de prévisions à des niveaux concurrentiels, auxquels on ajoute les avantages accessoires et les diverses "primes de compensation").

3. Installations nécessaires au campus central et aux campus éloignés : salles de classe, laboratoires, espace pour les bibliothèques et les salles de lecture, bureaux, etc.

4. Coûts des constructions d'après le type d'immeuble et les indices locaux du coût de construction.

Disposant des évaluations de coût, les décideurs de l'université pourraient comparer le rendement probable de chaque option. Il est en outre possible que cette analyse coût/efficacité suggère d'autres solutions. Les facteurs interchangeables suivants peuvent être examinés :

1. Traitements versés au corps professoral, comparés aux moyens de recherche et coûts d'un faible volume d'enseignement au niveau "diplôme" sur le campus éloigné.

2. Coût de la recherche et de l'enseignement au niveau "diplôme" sur le campus central, comparé aux coûts analogues encourus au campus éloigné.

En dernière analyse, les décideurs de l'université pourraient choisir à la lumière des renseignements fournis par l'analyse coût/efficacité.

Les prolongements évidents d'une telle analyse sont les suivants :

1. Etude des données économiques de la spécialisation (ou du double emploi) des programmes entre divers campus ou diverses universités.

2. Etude des relations fonctionnelles entre le niveau d'un programme et son coût.

Ces deux prolongements pourraient conduire à une étude de la taille optimale d'un campus, de l'intégration et de la coordination optimale de plusieurs campus dans une université qui en comporte plusieurs (ou de plusieurs universités dans un système d'universités nationales, d'Etat ou provinciales).

(D) Implications pour les ressources des modifications des programmes d'étude

Considérons l'école de médecine d'une université obligée de doubler son output annuel de médecins - de 125 à 250. Supposons, en outre, que l'on envisage de modifier substantiellement le programme des études médicales pour tirer parti des nouvelles connaissances et pour recevoir le nombre accru d'étudiants en médecine. De nos jours, l'enseignement clinique doit être organisé à la fois sur une base systématique (systèmes respiratoire, circulatoire, reproductif, etc.) et sur une base départementale (chirurgie, médecine, pédiatrie, etc.). Ceci représente un changement par rapport à l'orientation antérieure qui était fondée sur le "département".

Plusieurs formules peuvent être envisagées pour combiner enseignement dans les sciences médicales de base (anatomie, bactériologie, biochimie, etc.) et enseignement clinique :

1. Construction d'un grand complexe d'études médicales intégré à l'université, qui comprendrait des moyens d'enseignement dans les sciences fondamentales et cliniques, des moyens de recherche et des installations pour le traitement des malades.

2. Construction d'un complexe consacré aux sciences fondamentales au sein du campus central de l'université, où les étudiants en médecine seront formés pendant leurs premières années au sein de l'école de médecine. Aménagement d'installations au sein des hôpitaux urbains où l'enseignement clinique sera dispensé.

Chacune de ces variantes offre en soi de nombreuses options. Chacune de ces options implique des besoins correspondants en ressources : combien et quel type d'amphithéâtres, de salles d'examen, de domaines d'études, de laboratoires d'enseignement, d'installations pour autopsie, de vestiaire, de lits d'enseignement, etc. sont nécessaires pour chacune des écoles cliniques ?

Les réponses à ces questions dépendent du nombre des étudiants inscrits dans chaque école clinique, du nombre des matières qui y sont enseignées, du nombre d'élèves au sein des groupes d'enseignement clinique, du degré de spécialisation de l'enseignement de chaque école clinique, etc.

Pour qu'une analyse coût/efficacité par simulation puisse progresser, chaque option doit être traduite sous forme d'une série de valeurs des paramètres qui ne comportera aucune ambiguïté, et, lorsque c'est nécessaire, en nouvelles équations et séries de procédures du modèle par ordinateur.

A partir des résultats de la simulation, les conséquences de chaque variante de programme d'études pour chaque département et hôpital d'enseignement deviendront apparentes. Les départements situés à l'extérieur de l'école de médecine qui enseignent à des étudiants de cette école (par exemple la zoologie) peuvent mesurer les conséquences pour eux-mêmes en examinant le **Rapport par département** (Annexe, Tableau 2).

III. Le modèle CAMPUS

Le modèle de simulation du système ne peut remplir ses fonctions qu'en incorporant les caractéristiques structurelles essentielles de l'université. En fait, le modèle est avant tout une représentation formelle des interdépendances les plus importantes au sein de l'université. Ces interdépendances sont exprimées à l'aide d'une formulation mathématique

des relations logiques entre des séries de variables indépendantes que nous appelons les "paramètres du système" et les "niveaux du programme", et des séries de variables dépendantes qui représentent les besoins en ressources. Les formulations mathématiques sont codées en FORTRAN IV pour utilisation par l'IBM-7094. Ceci constitue, bien entendu, la programmation du modèle.

III-2. Structure du modèle

Etant donné le but de cette étude, on ne fera pas une présentation détaillée du modèle proprement dit. L'exposé qui suit est un bref schéma des principales parties du modèle et du fonctionnement de l'ensemble.

La stratégie du modèle est de progresser à partir d'un énoncé des niveaux du programme (nombre de diplômes B.S. (niveau licence) en sciences physiques, obtenus après spécialisation, nombre de doctorats en sciences politiques, etc.) jusqu'au calcul de la charge de travail - enseignement, recherche et administration - pour chaque département et pour chaque année simulée. A partir de là, le modèle calcule les ressources requises pour remplir les fonctions assignées.

Les schémas présentés par les figures 1 à 4 aideront peut-être le lecteur habitué aux diagrammes de flux à comprendre la structure du modèle. La figure 1 donne une clé des symboles employés dans les diagrammes de flux.

Le modèle est divisé en quatre sections principales :

(A) Analyse du nombre d'étudiants
(B) Charges pesant sur les ressources
(C) Besoins d'espace
(D) Calculs budgétaires

(A) Analyse du nombre d'étudiants

L'objectif principal de cette section du modèle est de calculer le nombre d'inscrits par matière qui suivront des études pendant chaque année (ou période) universitaire, dans les catégories de cours du niveau "Supérieur" (Honours Courses) ou "Normal" (Pass courses), pour chaque département, dans chaque faculté et pour toutes les années civiles couvertes par la simulation. Un résultat intermédiaire important est la sommation de tous les inscrits par matière d'après les huit rubriques suivantes :

1. Par faculté de l'inscrit.
2. Par "collège" de l'inscrit.
3. Par niveau, c'est-à-dire "supérieur" ou "normal"
4. Par période d'enseignement pendant laquelle la matière est offerte, c'est-à-dire 1ère, 2ème, etc.
5. Suivant que la matière est au programme d'un "collège" ou d'une université.
6. Par département où la matière est enseignée.
7. Par cycle d'études de l'inscrit.
8. Par année d'études de l'inscrit, c'est-à-dire première année de "collège"..., quatrième année de "collège" ..., première année d'université ..., quatrième année d'université ..., etc.

Ces outputs sont fournis pour toutes les années civiles couvertes par la simulation. Pour les obtenir, des valeurs numériques d'input sont nécessaires pour les catégories suivantes de variables :

1. Nombre d'étudiants sous chacune des huit rubriques précédentes, pour l'année civile de base de la simulation
2. Taux d'admission, d'échec et d'abandon pour chaque cycle d'études de l'université.
3. Pour chaque année de la simulation, total des inscriptions (nouvelles ou reprises après une ou deux années d'absence), pour chaque période d'enseignement de : (a) chaque faculté et (b) chaque collège.
4. Si 3(b) n'est pas connu, distribution en pourcentage, pour chaque année simulée, des nouvelles inscriptions en faculté, pendant chaque période d'enseignement, entre les divers "collèges".
5. Total des nouvelles inscriptions, pendant chaque période d'enseignement de chaque cycle d'études, pendant chaque année simulée ou, si ces renseignements ne sont pas disponibles, distribution en pourcentage des nouvelles inscriptions dans chaque "collège" (au sein de chaque faculté), entre les divers cycles d'études.
6. Nombre moyen de matières/laboratoires et de matières/cours suivies par les étudiants dans chaque cycle d'études, pendant chaque période d'enseignement de chaque année simulée. Ce chiffre multiplié par le nombre d'étudiants inscrits dans chaque cours donne le nombre total d'inscrits/laboratoire et d'inscrits/cours engendrés par chaque cycle d'études, pour chaque période d'enseignement de chaque année simulée.
7. Distribution en pourcentage du nombre total des inscrits/laboratoire et des inscrits/cours pour chaque période d'enseignement, dans chaque cours divisé entre les niveaux "supérieur" et "normal".
8. Distribution en pourcentage des inscrits/laboratoire et des inscrits/cours aux niveaux "supérieur" et "normal" pendant chaque période d'enseignement, dans chaque cours, entre les divers départements, pour chaque année simulée.

(B) Charges pesant sur les ressources

La section du modèle "charges pesant sur les ressources" reçoit comme input : le nombre des inscrits, par matière, qui suivront des études dans chaque département (données fournies par la section "Analyse du nombre d'étudiants") et les valeurs numériques pour les variables vérifiables par département. Cette section produit en tant qu'output une description assez complète des besoins en personnel de chaque département, les paramètres importants par département qui ne résultent pas de décisions explicites, le nombre des sections cours et laboratoire au niveau "supérieur" et "normal", etc.

Des valeurs numériques doivent être fournies par département pour quelques variables vérifiables fondamentales :

9. Nombre moyen d'étudiants dans les catégories cours et laboratoire, aux niveaux "supérieur" et "normal", pendant chaque période d'enseignement, pour chaque département.
10. Nombre d'heures moyen d'enseignement par semaine et par enseignant dans chaque département.
11. Prévisions de distribution, en pourcentage, du corps professoral entre les différents grades, dans chaque département.
12. Charges administratives liées à l'enseignement par département, par rapport au nombre des étudiants inscrits dans chaque département.

13. Charges en travaux administratifs courants, par département, par rapport au nombre d'étudiants inscrits dans chaque département et au nombre d'enseignants.

14. Nombre global d'enseignants dans chaque département. Cette indication n'est pas nécessaire que si 9 (ci-dessus) peut varier.

15. Pourcentage du temps d'enseignement que les enseignants consacrent au cours et au laboratoire, aux niveaux "supérieur" et "normal". Ce renseignement n'est nécessaire que si 9 (ci-dessus) peut varier.

(C) Besoins d'espace

Sur la base des renseignements fournis par la section "Charges pesant sur les ressources", cette section évalue les besoins d'espace pour les bureaux des professeurs, les salles de cours, les laboratoires, les pièces communes, les bureaux administratifs, etc. Pour la réalisation de ces calculs, la section "Besoin d'espace" requiert que des valeurs numériques soient allouées à des variables fondamentales telles que :

16. Terme constant et de coefficient d'une relation linéaire entre la dimension d'un amphithéâtre et d'un laboratoire, et le nombre des étudiants par département et par période d'enseignement.

17. Espace réservé aux salles communes, par étudiant.

18. Espace pour les bureaux des enseignants, par grade, dans chaque département.

(D) Calculs budgétaires

Comme ce titre le suggère, cette section incorpore dans le modèle les calculs budgétaires par département et par faculté. Les renseignements sur les besoins en personnel enseignant tirés de la section "Charges pesant sur les ressources" sont combinés avec les valeurs des variables suivantes du système :

19. Prévisions concernant les échelles de salaires et de traitements, par catégorie et grade de personnel enseignant, pour toutes les facultés et départements, pour chaque année simulée.

20. Besoins par département en appareillage et équipement, en fournitures, en dépenses générales et autres postes de dépenses, par rapport au nombre d'enseignants et au nombre d'étudiants.

Ces vingt catégories d'activité et de paramètres du système sont loin d'épuiser la liste des variables du modèle. Combinées aux figures 2, 4, elles peuvent servir à expliquer la structure du modèle et à montrer les catégories de renseignements qu'il utilise et qu'il produit.

IV. Etablissement et fonctionnement d'un modèle de simulation du système

Le but de cette section est de présenter brièvement la marche des opérations nécessaires pour établir et utiliser un modèle de simulation du système d'une université, de type CAMPUS. Les résultats des calculs du modèle ne peuvent être d'une qualité supérieure à 1) la formulation mathématique des interdépendances les plus importantes de l'université, qui sont incorporées dans la programmation, et 2) les valeurs numériques qui sont attribuées aux variables indépendantes du modèle au moment où on l'utilise pour analyse.

IV-1. Conception du modèle - Spécifications

Le premier stade de l'établissement du modèle est la conception des spécifications. Dans ce but, le constructeur du modèle doit déceler et mettre par écrit les relations réciproques les plus importantes qui existent au sein du système faisant l'objet du modèle. Dans le modèle de simulation du système d'une université, ceci signifie, par exemple, que l'on décrira la manière dont le total des inscriptions engendre une charge d'enseignement, par département, et de là des besoins en enseignants, puis des besoins en bureaux, en personnel et services administratifs. Ceci signifie également que l'on décrira les mécanismes qui provoquent les demandes d'amphithéâtres, de laboratoires, de salles pour séminaires et d'autres installations matérielles.

La description abstraite des relations réciproques les plus importantes au sein de l'université doit être formulée en termes mathématiques dont on peut dire qu'ils constituent un modèle pour ordinateur sous forme de paramètres. La méthode que l'on emploiera pour communiquer avec le modèle traitable par ordinateur doit être prévue; et des séries de procédures pour modifier les niveaux d'activité et les paramètres du système doivent être mises au point. Les rapports d'output doivent être tracés.

Après que la logique du modèle a été exprimée sous forme d'une programmation pour ordinateur et que les séries de procédures d'input et d'output ont été mises au point, le programme est prêt pour essai sur ordinateur. Les erreurs de logique et de programmation doivent être découvertes et corrigées, processus que l'on connaît sous le nom de "remise en ordre".

IV-2. Détermination des niveaux d'activité et des paramètres du système

Si nous espérons tirer du modèle des résultats utilisables, nous devons veiller à la qualité des données d'input. Il y a parmi les concepteurs ayant l'expérience des systèmes de renseignements un adage consacré, selon lequel : "rebus à l'entrée, rebus à la sortie". Le dicton n'est pas très élégant mais très vrai. Si des données douteuses sont incorporées dans le système, aucun résultat valable ne peut en sortir.

La qualité des valeurs numériques attribuées aux paramètres indépendants du modele n'est pas le seul point qui mérite attention. Le modèle doit être employé pour évaluer et prévoir les moyens financiers, les matériaux et les hommes qui seront requis pour mettre en oeuvre divers programmes possibles des activités de l'université. Le modèle devra fournir aux décideurs les renseignements qui les aideront à faire leur choix. Il est donc important que les membres de la communauté universitaire qui seront engagés dans les diverses activités soient informés et, dans une certaine mesure, soient amenés à exercer leur contrôle sur les valeurs des variables du modèle qui concernent directement "leurs" activités. L'équité et de saines procédures d'organisation exigent que les facultés et les départements soient convenablement mis au courant des composants du modèle, dans la mesure où ces composants peuvent les affecter. Sinon, il en résulterait de l'hostilité à l'égard du modèle, de la suspicion quant à ses résultats et une situation qui irait à l'encontre de son utilité.

Nous avons adopté quatre méthodes générales pour aborder le problème de la détermination des valeurs numériques à attribuer aux variables :

(A) Evaluation des valeurs au moment présent ou antérieurement
(B) Prévisions des valeurs à l'avenir
(C) Stipulation des valeurs par décision
(D) Stipulation des valeurs à des fins expérimentales

Dans la mesure où les variables ne sont pas contrôlables, le problème de fournir des valeurs numériques devient un problème de prévision. La peine et les ressources à consacrer à la prévision dépendent du degré de sensibilité des besoins en ressources de l'université à l'exactitude des prévisions. Ce degré de sensibilité est l'un des facteurs que le modèle est censé explorer.

Dans la mesure où les variables sont contrôlables, les décisions quant aux valeurs numériques appropriées appartiennent aux responsables compétents de l'université. Le rôle du constructeur chargé de l'entretien du modèle est de transformer les décisions prises en valeurs numériques des variables en cause. Son rôle devrait être également d'aider le décideur à accepter des valeurs alternatives pour les variables contrôlables, afin de procéder à des études coût/efficacité des implications que les options offertes aux décideurs ont sur les ressources.

(1) Un système d'affirmation variable

Nous envisageons deux niveaux d'utilisation du modèle CAMPUS: D'abord, une utilisation officielle aux fins de planification budgétaire et des installations. Des études de cette nature, accomplies par les bureaux du Président et du Vice-Président, le Conseil des Gouverneurs ou des bureaux intéressés de l'administration nationale, utiliseront pour les variables contrôlables une série de valeurs numériques soigneusement coordonnée et confirmée. Le second niveau d'utilisation plus officieux couvre le travail expérimental au sein de l'université.

Pour l'utilisation officielle, les meilleures estimations possibles sont attachées aux variables non contrôlables dont les valeurs peuvent être déterminées avec certitude. Les variables non-contrôlables incertaines, c'est-à-dire les nombreuses variables qui ont été énumérées dans le cadre de la section "Analyse du nombre d'étudiants", seront affectées de valeurs estimées, comportant l'indication des limites entre lesquelles on peut s'attendre qu'elles varient; dans de nombreux cas, il est possible d'évaluer la probabilité de la distribution des valeurs entre ces limites.

Les valeurs des variables contrôlables sont déterminées sur la base de la procédure établie pour prendre les décisions. Par exemple, les variables fondamentales concernant les départements donneront lieu, pour chaque département, à proposition, examen et approbation, de la même manière que le sont les postes des budgets actuels des départements. Nous envisageons un document qui contiendra toutes les variables fondamentales concernant un département donné; le document devra informer périodiquement le lecteur des valeurs des variables qui se trouvent à ce moment là dans le modèle, et laisser la place nécessaire pour y incorporer les révisions de ces valeurs. Une fois qu'elles ont été approuvées par les autorités compétentes, les révisions seront introduites dans le modèle.

Toutes les valeurs numériques propres à l'utilisation officielle du modèle devront être conservées sur un média permanent de conservation des données; elles ne seront modifiées que selon la procédure appropriée. Les valeurs confirmées de ces variables peuvent être publiées et diffusées pour examen critique aux parties intéressées. Les valeurs des variables qui ont un caractère plus confidentiel ne seront communiquées qu'à ceux qui ont besoin de les connaître.

Les données de la série officielle servent de point de départ à l'utilisation expérimentale officieuse. Si, par exemple, le département de géographie désire examiner les implications sur les ressources d'un programme modifié d'études en géographie, au niveau "supérieur", des valeurs numériques appropriées devront être ajoutées au modèle. Le résultat représente les besoins, après calculs, en personnel, en installations et en moyens financiers pour le fonctionnement des diverses variantes envisagées. A des fins expérimentales, les valeurs de celles des variables qui ne sont pas affectées par l'expérience conserveraient sans changement leurs valeurs confirmées.

(2) Traitement des incertitudes

Certains paramètres du système et certains niveaux d'activité seront vraisemblablement entachés d'incertitude. Cette incertitude résultera d'une évaluation et d'une projection imparfaites, et du caractère hasardeux de certaines variables, par exemple : les demandes d'inscriptions à divers cours et la popularité de certaines matières. Un des avantages du modèle de simulation d'une université est qu'il permet à ses administrateurs d'attaquer le problème de l'incertitude.

(a) Techniques dites de Monte-Carlo

Comme on l'a déjà indiqué, il est possible d'établir par des calculs de probabilité les distributions des valeurs de quelques paramètres et niveaux d'activité. Là où c'est le cas, on peut employer les techniques dites de Monte-Carlo. Bénéficiant de la rapidité de l'ordinateur, on procédera à des passages répétés de la simulation, tandis que des variables soumises à probabilité évolueront entre les limites des valeurs. Le résultat sera une distribution de fréquence des besoins en ressources qui informera les administrateurs de l'université des limites anticipées de variation des besoins et fournira des estimations concernant leurs distributions probables.

(b) Analyse de sensibilité

Là où les techniques dites de Monte-Carlo sont inappropriées, le modèle de simulation peut être utilisé pour déterminer le degré de sensibilité des besoins en ressources aux variations des valeurs des paramètres et des niveaux d'activité incertains. On peut laisser ces valeurs varier à l'intérieur de limites pré-déterminées tandis que le modèle calcule parallèlement les besoins correspondants en ressources. Les résultats devraient permettre aux planificateurs de l'université d'évaluer la sensibilité de leurs plans à de telles variations et de calculer le coût d'une correction des incertitudes là où c'est possible. L'analyse de sensibilité devrait également servir à éviter les surprises déplaisantes en aidant les planificateurs à repousser les plans qui sont sensibles à des variations capricieuses des paramètres du système et des niveaux d'activité. Là où il est impossible d'éviter entièrement la sensibilité des plans, le modèle devrait inviter les planificateurs à se prémunir en préparant des plans de remplacement.

IV-3. Conservation et amélioration du modèle de simulation

Lorsque la première version du modèle de simulation d'une université aura fonctionné, il sera nécessaire de le conserver en état de marche et de l'améliorer. Les évaluations des paramètres du système et des niveaux d'activité et les prévisions les concernant doivent être mises à jour. Le schéma logique du modèle devrait également évoluer au fur et à mesure que des déficiences apparaissent et que des innovations sont faites. Toute modification dans l'organisation de l'université nécessitera une modification appropriée du modèle.

Les universités modernes utilisent de plus en plus des systèmes automatiques de traitement des données dans des domaines tels que la comptabilité des salaires, les dossiers des étudiants, les planning d'entretien, etc. Par contre, toute une série d'autres tâches de planification et de conservation des données à l'intérieur de l'université est réalisée manuellement. Une caractéristique du modèle de simulation est qu'il utilise de nombreuses données en provenance des systèmes de renseignements automatiques et manuels de l'université. Le modèle de simulation rassemble ces diverses données et leur donne une structure cohérente qui est utile à l'analyse administrative à haut niveau: En l'absence d'un modèle, il est

vraisemblable que ces données qui proviennent de dossiers disparates resteront disparates plutôt que coordonnées.

Une université qui utilise un modèle de simulation devrait prendre des dispositions pour assurer un influx systématique et ordonné des données à partir des divers systèmes de compilation des dossiers et de traitement des données qui existent dans l'organisation. Le bureau en charge du modèle devrait recevoir ces données et les incorporer, suivant les besoins, dans le modèle. L'entretien du modèle sera aussi aisé que possible si l'on fait en sorte que le rassemblement des données apparaisse comme un sous-produit des autres systèmes de renseignement. La nécessité de rapports spéciaux et de razzias pour rassembler les données devrait être réduite au minimum.

L'hypothèse que l'on établira au sein de l'université un quartier général chargé d'entretenir et d'améliorer le modèle et d'épauler les décideurs de l'université dans son utilisation est implicite dans ces suggestions. Le quartier général du modèle devrait être situé à un haut niveau administratif au sein de l'université et devrait comprendre un personnel de compétence analytique suffisante pour garantir que le modèle sera utilisé de telle façon qu'il réponde pleinement aux besoins des planificateurs et des administrateurs de l'université.

TWO O.E.C.D. FEASIBILITY STUDIES ON APPLICATIONS OF OPERATIONAL RESEARCH TO EDUCATION IN ENGLAND AND WALES

by David A.C. Heigham (1)

Introduction

Operational Research (OR) is a well established activity in Britain and over the last few years its techniques have begun to be applied to some of the problems that arise in the educational system. Two studies conducted at the Manchester Institute (then College) of Science and Technology and financed by the Department of Education and Science have brought this approach to bear on the analysis of classroom activities and on the links between learning and attitudes to authority. The Industrial Operations Unit, now part of the Ministry of Technology, conducted a study of secondary school location in a Scottish rural area. The Local Government Operational Research Unit have worked on school supplies ordering and stocking patterns, on school transport problems and on the estimation of future numbers of school children in detailed local areas. The major research project sponsored by the Nuffield Foundation which, under the title "Resources for Learning" is exploring the ways in which the schools of the future can most effectively deploy their buildings, staff and equipment is also making use of OR skills; and there is of course the model of student flows throughtout the English and Welsh educational system that has been discussed at previous O.E.C.D. meetings.

However, all these applications of OR in education, even the model of the whole system, arose from the ad hoc search for techniques with which to tackle the problems which came to the fore at times and places that were propitious for the employment of OR. There had been no opportunity to consider the whole range of questions and issues to which OR might be applied in educational administration and planning. Consequently, neither priorities for the deployment of scarce OR expertise, nor the best way in which to build up an effective OR function or functions within educational administration could be properly examined. The distinctive contribution of these two O.E.C.D. feasibility studies, both in Britain and I believe for other countries, is that they do offer just such a broad survey of OR applications in education planning. They attempt to set out how OR techniques can be best employed to obtain better value from resources and to aid the efficiency of administration throughout the educational system. From their findings it is possible to review the various applications of OR, to select any that appear likely to be particularly useful or timely, and

---

(1) The credit for these two studies belongs to the O.E.C.D. for initiating them, and to the two teams who did the work. The present writer can claim only that part of it which is due to an admiring onlooker; as Economic Adviser at the Department of Education and Science I was in contact with the projects from their start.
The major part of my task has been to report, not to comment. Where my own views do appear, I trust that their provenance is sufficiently obvious. In keeping with the usual practice none of the opinions in the paper are necessarily those of the Department I have the honour to serve.

to assess the manner and means by which OR might best be brought into use as a serviceable tool in dealing with a wide range of problems in education.

The division of this comprehensive review into two studies reflects the major division in British education administration. On the one hand, there are the central departments, the Department of Education and Science (D.E.S.) with responsibility for England and Wales and for all British universities, the Scottish Education Department and the Northern Ireland Ministry of Education. These deal with such national gestion as the forecasting of overall demand and the choice between different lines of educational advance. On the other hand, there are the Local Education Authorities (L.E.A.'s), 191 of them, who actually own and/or administer the bulk of the schools, technical colleges and colleges for the training of teachers. They have the duty of providing an effective education service for their areas, and within the broad lines of policy laid down by the national governments, they have wide discretion in fulfilling this duty. It was clear from the inception of these studies that some OR applications at least would be of relevance to only one of these levels of government, and that the people whom the investigators would have to contact in order to survey the problems at one level would not coincide with those who could give useful insights into the other level's problems. The Local Government Operational Research Unit (L.G.O.R.U.) who had already worked on some L.E.A. problems were therefore given the task of surveying the feasibility of OR applications at that level, and the Institute for Operational Research (I.O.R.) asked to look at central government uses for these techniques. Both the teams that from the I.O.R. led by Mr. J. Stringer, and the L.G.O.R.U. group led by Mr. C. Myers (which included an O.E.C.D. Fellow Mr. Søren Holm) liaised with one another and with a steering group convened by the D.E.S.

The design of the two studies was similar. Each set out to examine the feasibility of one particular OR application in some depth, to put it in the context of a spectrum of other possible applications and to indicate an appropriate administrative framework for implementing the programme of OR they had described. Inevitably, differences in emphasis were found necessary between the two studies, and it became clear that a number of problems could not be tackled at one level in isolation from the other. The uses of OR in the third main level of education administration, the individual schools and colleges, overlap in turn with the local government applications. However, it was felt that the major problems at that level involved questions of pedagogic aims, methods and objectives, and therefore fell outside the scope of O.E.C.D. activity as defined.

The Findings

The methods of the two studies are set out in full in their respective reports and outlined in the two appendices to this paper; they need not be discussed here. The procedures followed diverged, but the findings come together again. Both because the British division between central and local authorities does not match that in other countries, and as the L.G.O.R.U. report puts it, "... it will be seen that the devolution of control from the Central Authorities very often means that problems susceptible to Operational Research cannot be resolved in either the central or Local Authorities singly but that the two must be taken together", it is appropriate to consider all the findings as one whole, dividing them only to distinguish the uses found for OR in the planning processes from "housekeeping" applications designed to improve the way in which routine day to day business is tackled.

OR in planning

A main distinguish feature of OR as against non-scientific analysis is its use of models, and the I.O.R. report introduces a classification of the models current in discussions of education planning. Education systems exist in an environment external to themselves; they are affected by both social and economic conditions and objectives. Models such as that advanced by Tinbergen, "... which examine the consistency between economic planning assumptions and the concomitant assumptions regarding educational output would best be described as models of the environment of education" in the words of the I.O.R. report. These environmental models are a distinct species from the predictive models of the system itself similar to that being built up in Britain by the D.E.S. and the London School of Economics. In many planning situations outside education there is no need to simulate more than the system itself and its relations with its environment; given this data a central decision maker can respond to situations and plot his course towards his objectives. In the British education system, and in that of many other countries; many important decisions are taken away from the centre. In this multi-decision-maker situation, any one decision-maker seeking to achieve his aims for the whole system must take into account the likely decisions taken by others whom he does not directly control. He therefore needs a model of the decision-making process, which must, of course, be compatible with the environmental and system models.

This takes operational research into surprisingly unfamiliar ground. As Rivett and Ackoff put it in 1963 "The relationship between the interacting decision makers may be either co-operative or competitive. As yet, unfortunately, there has been little analysis directed towards increasing the effectiveness of co-operation; but a great deal has been done to increase the effectiveness of competition". Relations between educational decision makers are co-operative in intent (at least in Britain). The I.O.R. study therefore breaks new ground in the theory of OR as well as in its applications. Diagram 1 shows how the report views the whole situation in which the central educational planner finds himself.

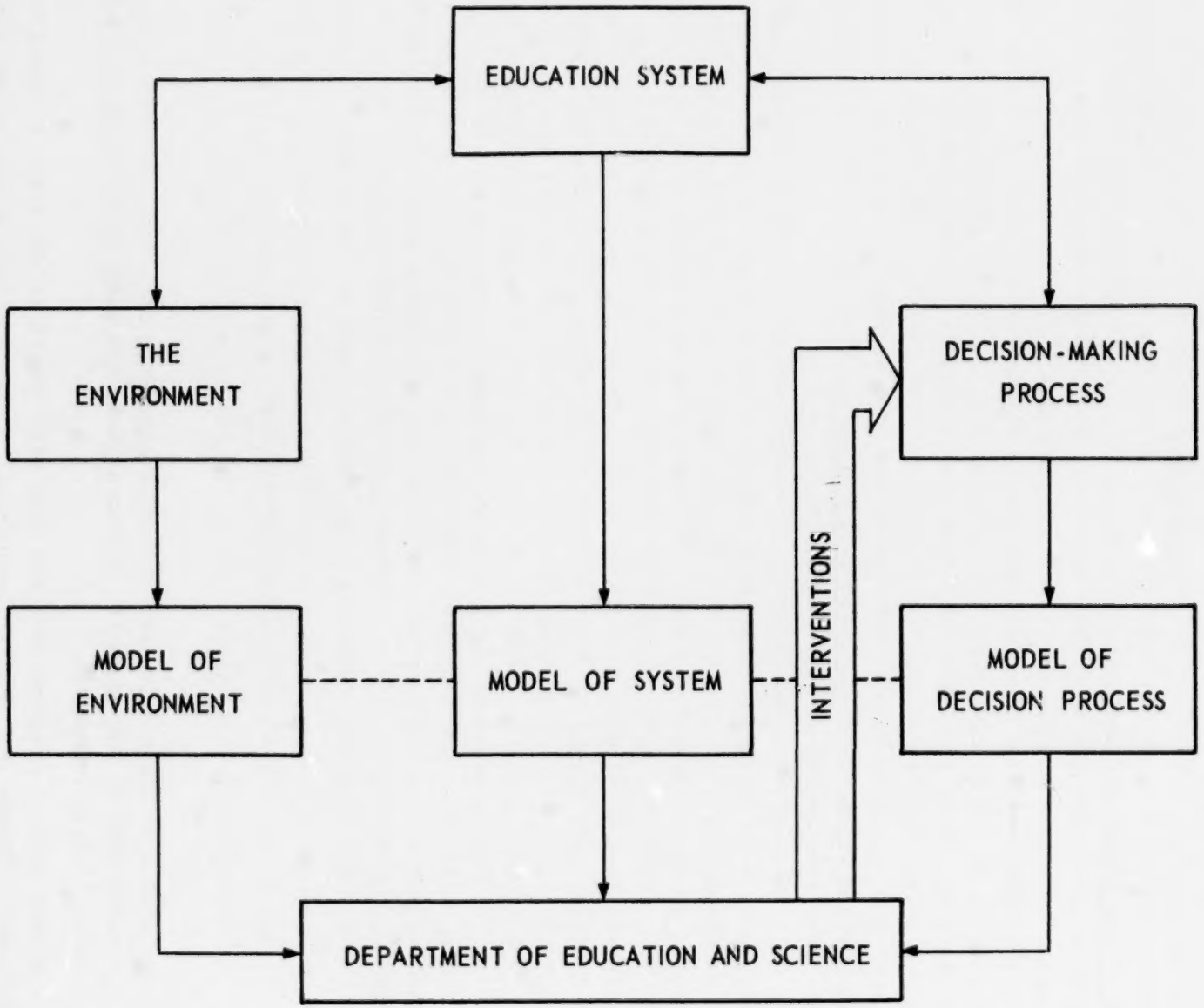
The central planning authority affects the course of events through selective interventions in the decision-making process; interventions including" ... not only the control of funds, and the exercise of statutory powers, but also the publication of plans and estimates and advice together with exhortations of various kinds" (I.O.R. Report). In his choice of interventions from his armoury, the central planner and co-ordinator can use the three types of model together at the several steps of the process he goes through :

- "formation of a sufficient understanding of the environment, of the system of operations itself, and of the decision-making process";
- "formation of an understanding of the likely effects of sets of possible interventions";
- "choice of those interventions which appear to have the best chance of meeting the objectives of the education system as they are seen by the central planning authority" (I.O.R. Report).

A good deal of progress has been made with the first two types of model but, as the I.O.R. say : "There are no clear precedents for mathematical models of decision processes, in educational or any other sort of planning, ...". In other spheres, war games and business games can give useful indications of decision-making behaviour, but the report leaves the idea of an extension of this approach into educational decision-making implicit rather

Diagram 1

USE OF O.R. MODELS IN CENTRAL PLANNING



than explicit. In an appendix a different sort of model of a multi-decision-maker situation is introduced as an illustration. It looks at the problem with the viewpoint of a co-ordinator in mind. The influence of the various decision-makers might be regarded as a set of forces pulling the system this way and that. The sum of these vectors describes the path the system actually takes. Thus the task for the co-ordinator is not simply to attempt to pull the system directly towards his objectives, but rather to exert an influence of a sufficient power and direction to counterbalance or "correct" the overall tendency of the other decision-makers to move the system into a course diverging from those objectives. Diagram 2 illustrates this concept.

This diagram sketches a three stage decision process determining the future number and type of students, with a co-ordinator superimposed. The co-ordinator's objective (CO) is in the top right hand corner. The influence of each decision-maker (and of the co-ordinator) is represented by a line whose direction shows the way in which he is trying to develop the system and whose length represents the extent to which he influences what finally happens. Thus the first decision-maker's influence (S1) is relatively slight, but he seeks about the same balance between greater numbers overall and more advanced students as does the co-ordinator. The second decision-maker (S2) is more powerful, but he seeks to reduce the number of advanced students. Howevern the third man (S3) who is more influential than the other two combined is very strongly in favour of more advanced students. The co-ordinator's intervention (I) therefore need only be in favour of increasing the total number of students. (If the three decision-makers had acted simultaneously instead of in sequence, the result or sum of their influences, represented by * , would have been the same and the same intervention would have been called for). Whether or not such a model would or should be quantified remains an open question

The I.O.R. report refers to this vector model in the context of attempting to assess and manage the future demand for and provision of places in technical colleges. In the same context, they also point out the need for the central planner to have a model in mind, quantified so far as is possible, of the influences acting on the important local decision-makers. The Principal of a technical college is, they think, of very great influence in deciding what new courses a college shall offer, and it is suggested that as a first step to a better assessment of the growth of new courses in the country as a whole a model of this sub-local-government decision-making should be attempted.

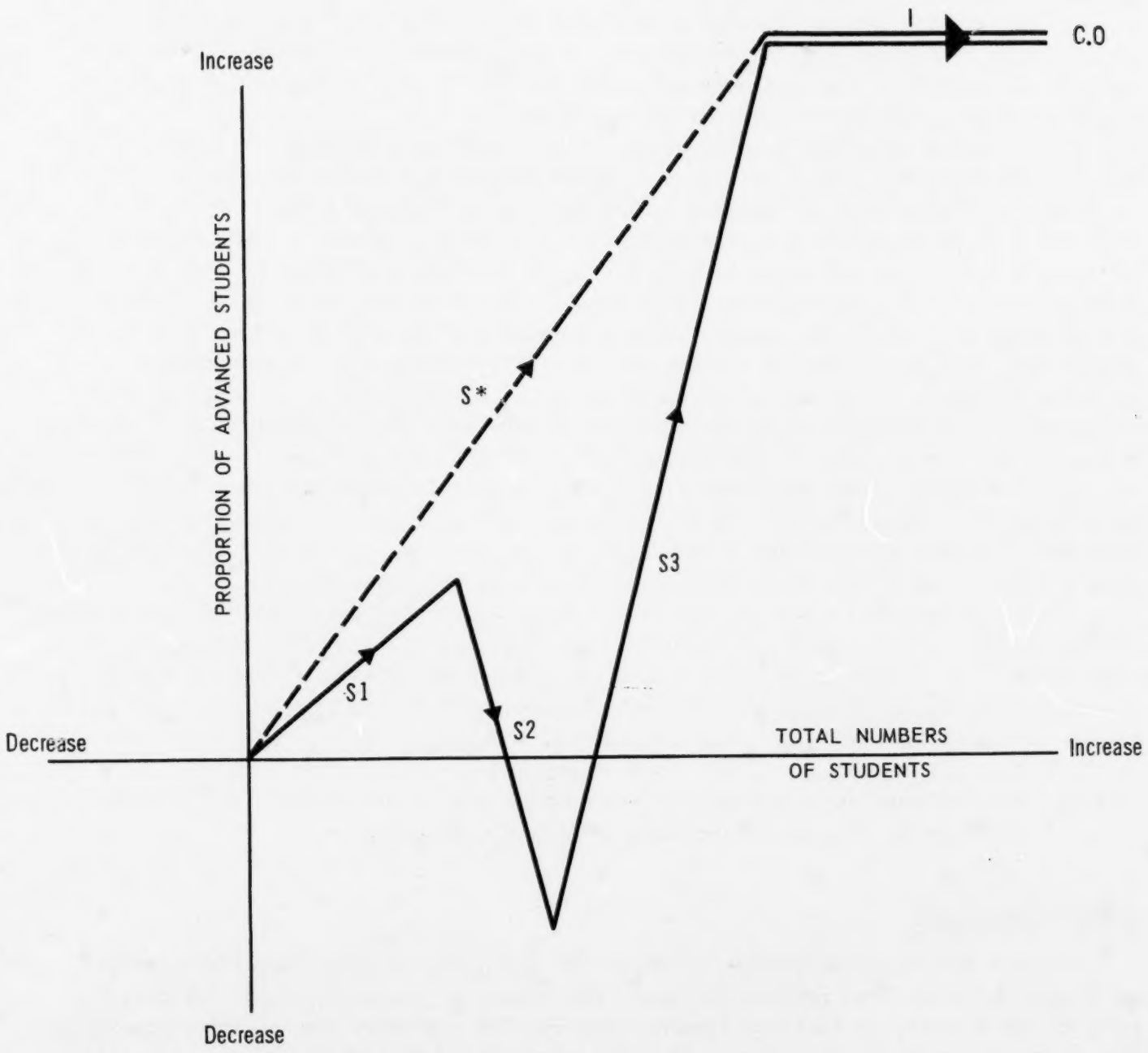
Demand Forecasting

The Further Education system, of which the technical colleges form the major part, has as one of its objectives meeting the needs for education in industry and commerce, and most of its activity is directed towards this end. As one would expect, it is expanding very rapidly. The problem of forecasting the rate and pattern of its future growth is acute. Fairly elaborate statistics are kept of the numbers following the different levels and types of course through full time and part time study, and practice has been to estimate future demand by projecting the trends in these figures. Finance to expand the system is of course allocated in accordance with the demand so estimated. As there has been no gross over-estimate of potential demand, the new colleges are soon filled with students; but as there is still no indication of the magnitude of any potential demand not yet met, it is still not possible to say how far Further Education is meeting the needs for education in industry and commerce.

Realisation of this lack let the I.O.R. directly to an analysis first to determine what was the appropriate unit of measurement for demand, i.e. the course in a college, and from

Diagram 2

DECISION MAKERS' INFLUENCES AS VECTORS



that to a study of the processes leading to the expansion of an existing course or to the establishment of a course which had not previously been taught in that college. Both processes in initiating a proposal for a new course, and various stages of approval that the proposal had to pass through were tentatively identified. The feasibility study thus led the I.O.R. to the college Principal as the man through whom these proposals enter the formal mechanism of approval by the different authorising bodies and therefore to the presumption that he has a very important role in determining the pattern of growth in the system. A corollary is that the route to a better assessment of either the likely demand or the desirable development of Further Education leads via study of the pressures on him, and of his reactions to them.

The L.G.O.R.U. concentrated their main fesaibility study on another aspect of demand forecasting. In 1971 the minimum legal age for leaving school is to be raised to 16. It is fairly easy for L.E.A.s. (and the central departments) to determine how many extra 15 year olds are likely to be kept in the schools by this measure, but there is at present no means of estimating the consequential effect on the numbers likely to want to stay at school aged 16, 17 and over. The L.G.O.R.U. tried to find an operational research solution to this problem. They were not fully successful; the new situation created by the raising of the school leaving age combined with the nearly simultaneous transition to comprehensive secondary schools was such that no model based upon past experience could be confidently relied on as a guide to it. However, what could be done was to use regression analysis to identify accurate predictors of the spread of voluntary staying-on at school in the present and immediate past. These in themselves would help local authorities in their planning and if a close watch were kept on them and on staying on immediately after the changes took effect, there was a very good chance of being able to quantify any alteration in the trend of staying on several years earlier than would have been possible from the usual statistics. In allocating educational resources, both nationally and locally this could be of considerable importance.

The regression approach that the L.G.O.R.U. proposed for the staying-on study is closely analogous to the methods they are applying to the prediction of school populations for detailed localities with total populations (all ages) of around 3,000. This system is working in one county, and is being applied to the new towns being built in Scotland. Although it was developed as an answer to local problems of deciding the size and location of new schools if it can be widely applied it will give a far better measure of the national need for new schools that has been available heretofore. Although a lot of factors had to be assessed in the development of this technique and the development work is not finished yet, the present indications are that the great majority of variations in the growth of school populations can be traced back to two factors, the births in the area 5 years earlier, and the new dwellings, subdivided by size and type, completed in the area in the previous year. Although this work is not stressed in the report to the O.E.C.D., perhaps because it started some time earlier, it may suggest an opportunity for useful parallel studies in a number of other countries.

Teacher supply

The two reports also consider the problems of demand for teachers. In Britain, the total supply of teachers is more thoroughly planned than is the supply of any other group of skilled manpower. Nevertheless, as the L.G.O.R.U. report points out :

"Student teachers are interviewed by the Local Authorities before the exact nature of the vacancies to be filled is known. As a result many schools have to alter their curricula to suit the staff they get. In addition there may be a mis-match of disciplines in different areas of an authority.

"... The major problem in local teacher supply is that of persuading teachers to teach in "unattractive" areas".

This latter problem persists even though there is a system of allocating each authority a maximum quota of full-time school teachers which is specifically designed to ameliorate this disorder.

At the national level, projections have been prepared for some years of the numbers of recruits needed to reach given class size standards in the schools. These take account of the age structure, sex and wastage rates of the school teaching force; but they neither allow for the uncertainties in the situation nor do they allow any systematic optimisation procedure for arriving at a lowest cost route to the chosen target. The I.O.R. report points to a type of model approach which would allow for repeated revision of targets, and which would demonstrate how a set of objectives could be achieved most effectively and with minimum expenditure. The example of such a model given in the report is very simplified. It takes into account only a few factors, wastage from the existing teaching profession (separately for men and women), and the limited possible rates of building new training accommodation and recruiting fresh teacher training instructors. However, the basic structure is capable of elaboration to include, e.g., different routes of teacher training, different specialisms and levels of qualification of teachers, the extent to which teachers are tied to particular localities, etc.

To arrive at an optimum solution to this model, unit costs are attached to teachers' salaries, to the costs of training and the cost of new teacher training places. To reflect the investment element all costs incurred in the future are discounted at an appropriate rate. The object of solving the modek is to minimise a function including both expected costs and also future expected shortfalls of supply below the target standards, both summed over all the years of the programme. It is made clear by the I.O.R. that to combine these two criteria it is necessary to attribute a cash value to shortfalls (or a shortfall value to costs), but that such a value is implicit in present plans already. Making this equivalence explicit in the model would allow an opportunity to experiment with different values, leading perhaps to one which more closely reflects policy makers conscious priorities. Another implication which the logic of the model brings out is that these future shortfalls should also be discounted, and at the same rate as future costs. To reflect the disproportionate inconvenience resulting from a large shortfall of teachers it is suggested that the number of teachers lacking in each year should be squared before it is included in the optimising function. Even if a less sophisticated, non-OR approach to planning teacher supply is adopted, this relatively simple exercise in model logic makes it clear that all these points should be borne in mind.

In teacher supply, shortages need to be tackled first at the national level. Only if a reasonably adequate overall supply exists can the local allocation problems be dealt with adequately; the reverse of the situation found in dealing with Further Education demand, but one showing the same central-local interdependance with these reports demonstrate is typical of OR applications in education planning.

Capital Programmes

That educational buildings and equipment are forms of capital investment will by now be self-evident to participants in O.E.C.D. activities; and the difficulty of obtaining or measuring a maximum return to this investment almost equally obvious. The various benefits that a piece of this investment brings cannot be summed into a convenient total. The I.O.R. suggest that this need not prevent the use of quantitative techniques to improve the planned returns, it is possible to take a series of separate uncombined measures of benefit expected and to use them together to delineate not a single best choice but instead an area within which choice should be made.

Prima facie, this is an attractive idea. The snag (at present) is that in Britain and perhaps in other countries where central or provincial departments have the final word on which particular investment projects go forward, the projects that reach the centre have already been so thoroughly sifted that the OR technique is either superfluous (if the sifting has been done well) or irrelevant (because the range of choice has already been so narrowed). If there are central departments in other countries to whom the whole range of choice of different educational building possibilities are presented, and they can avoid having to approve individual projects serially, then they may find this idea a very attractive potential tool for sorting out the mass of options.

The Spread of Innovations

The innovations that change the technological parameters of education are generally pedagogic in content, but they may have a major effect (in either direction, alas) upon the cost-effectiveness of the system. Assuming that their spread is desirable, the I.O.R. suggest that OR might be applied to speeding and easing the necessary information and verification flows. The model they refer to is an analogy with epidemiology. The idea is intriguing, but in this report it has the status of a suggestion raised rather than a thought through proposal.

"Housekeeping" Problems

The boundary between planning and the tasks of keeping the organisation in good running order is imprecise, but it is convenient to separate out those proposed OR applications which seem (to this writer) to be of use whether or not one is facing the problems of a growing and changing system. These selected suggestions for "housekeeping" applications of OR in education (many more are enumerated in the appendices) are of the latter kind, useful though some of them could be in facilitating change.

The preparation of timetables is a chore found in all educational establishments. The L.G.O.R.U. suggest an OR approach to mechanising the process on cumputers. If this can be made to succeed, and the magnitude of the combinatorial problem to be solved is stupendous, not only will considerable amounts of senior teachers' time be saved, but more importantly a major constraint on the freedom to use a school or college's resources adaptively will have been removed.

A good many schools and colleges have from time to time to face the difficulties of spreading their activities over two or more separate sites. Such split premises are likely to become a good deal more common in Britain than in the past as a result of the reorganisation of secondary education on comprehensive lines. The L.G.O.R.U. report suggests a two point OR exercise aimed at minimizing the disruption of educational activities from this

cause. Linear programming allocation techniques might be applied to solving the "design" problem of where to locate particular activities and specialist facilities. To explore different administrative techniques for running such a school could involve setting up a computer model of the workings and timetable of the school, this might take twice the resources needed to solve the allocation problem, but will be very worthwhile.

Which supplies to order when, which to hold stocks of and what amounts of stock to hold where, are prototype "housekeeping" problems, and also standard OR applications. The L.G.O.R.U. name stock control and ordering in schools as a high priority area for their future work. The sums involved are large by any standards, there are a vast number of different items dealt with, from encyclopaedias to eggs, and there are wide variations in present procedures. From work already done, the Unit have found both that such sub-optimal criteria as the reduction of purchasing department administrative costs are shaping policy, and that there are considerable volumes of stores and storage space in schools that are not costed. The report anticipates that a relatively small amount of extra OR scientist's time, of the order of a few man-months, could result in a very significant pay-off.

Another well known field for OR studies is transport; and the L.G.O.R.U. suggest that the vehicle routing problems of school children's transport as well as of supplies and catering vehicles could be dealt with by established computer techniques which have yielded savings of about 5 per cent of vehicle utilisation in commercial practice. If an OR study was extended to cover the possibility of integrating these types of transport (and perhaps those of other local authority services) further savings would be in prospect. In areas of sparse population, these transport studies could have a bearing on the selection of sites for new educational facilities.

Transport, like many other local government activities is often handled through an outside contractor. There are recurrent questions on whether open or selective tendering should be used, for what periods contracts should be placed and what arrangements or guarantee should be offered to contractors. (The need to give guidance on these issues for the building programme in education is felt by the central departments also). The L.G.O.R.U. suggest attacking these problems of contract procedures through building a model of the market, through studies to improve co-ordination between local authorities and contractors and by means of business games designed for local authority officers.

One possible area for an OR study that is of both "housekeeping" and planning importance is pupil/student documentation. The needs of both national statistics (especially with Individualised Data) and local control are involved. The L.G.O.R.U. suggest

> "A study of the communication network and subsequent decision processes would reveal the critical factors that need to be measured..
>
> The objects of such a study would be to determine what information was needed and the optimum means of collating and processing it ... This study could help in finding a basis for desegregating local and national educational models".

It is suggested that a project in this extremely interesting field might not require much in the way of scientific resources.

The Organisation of an OR Function in Education

It will be obvious by now that the two reports set out a very considerable programme of possible OR work in education, and both confidently anticipate that more useful applications will be found as experience accumulates. Perhaps because they are already developing

a programme of studies in education, the L.G.O.R.U. have relatively little to say on the ways and means of setting up a new OR function; they content themselves with pointing out that for many studies education needs to be looked at together with other local authority activities, that it would not be profitable for each local authority to have its own OR specialist, and with attempting to enumerate the workload involved in 25 separate studies.

The I.O.R. looking at the needs of national educational planning in which OR has not previously figured, go into the means of its introduction in some detail. They even take their own medicine in setting out a critical path analysis of the steps needed to achieve a full grown accepted OR function. At first sight this analysis is somewhat daunting; a six year development period (which might be shortened to four years given an "act of faith" at the beginning of the period) seems necessary, but in the suggested scheme useful findings would begin to emerge long before the end of this period. In these networks there are four main elements : pilot studies, model building and manipulation to build up expertise, staffing of the OR group; the clarification of the objectives towards which the educational system should be working, and the building up of an appreciation of the uses and methods of OR amongst administrators. All these four will be present in any country, but the additional element which the I.O.R. expect to lenghten the process by two years is, at least in part, peculiar to those countries with decentralised educational administration. This structure results in the multi-decision-maker situation discussed above. If OR is to be applied effectively, it must be seen to be impartial as between all the different interests it has to joint sponsorship, and to obtain effectual joint action on a new initiative generally requires time and patience. To avoid this delay an "act of faith" on the part of all, or most, of the parties involved is needed.

Conclusion

One of the outstanding findings in these studies is that the use of OR (or indeed of any rigorous quantitative planning technique) can and should bring about a radical clarification of the objectives of an educational system. As the I.O.R. say,

> "... a role for operational research models in exploring the consequences of adopting various possible sets of objectives, so as to discover whether they lead to undesirable side effects, and if so, what reformulation of the objectives is necessary".

And more succinctly from the L.G.O.R.U.

> "... the biggest breakthrough that Operational Research could make, would be in drawing attention to the need for a clearer and more precise definition of education objectives".

Clarity about what you are trying to do is the first step to doing it effectively; analysis of your effectiveness forces you to take this first step.

The two O.E.C.D. feasibility studies in Britain have demonstrated that there is a wide field in which the techniques of Operational Researchers can help educational administrators and planners. Whether the title under which they are applied is Operational Research, Systems Analysis, Cost Accountancy, or what have you, is immaterial; what matters is that detailed analysis, model building and model manipulation form a body of skills that can and should become everyday tools of our trade.

Appendix I

The Scope for Operational Research in Local Education Administration

A report by the Local Government Operational Research Unit

The Unit

Recently created, the Unit is affiliated to the Royal Institute of Public Administration. It employed (at the time of the report) 23 scientists on a wide range of OR studies into matters affecting local authorities. It is financed by subscriptions from local authorities and from income received for commissioned studies.

Methods

An early decision was taken to concentrate first on one problem for a feasibility assessment in some depth. A problem area, the effects of the decision to raise the minimum school leacing age in 1970, was chosen by vote of local Chief Education Officers, and refined on examination to forecasting the growth of the secondary school population above that age in detailed areas. A pilot area was selected and a 20 variable regression model outlined; sociologists and others being consulted on variable selection as well as psychologists attempting some direct interviewing of students and teachers.

The second phase of the study consisted of the identification of a wide spectrum of other possible OR applications through consultations with local authorities, central education departments and educational researchers.

A notable feature of this study is the close working relations established with the local administrators, especially in the Monmouthshire pilot area.

Period of the Study

November 1965 - July 1966

OR Applications identified

Short Description	Remarks
Deeper Study	
A forecasting mechanism to predict the number of school leavers, related to raising the school leaving age.	Feasible, but the effect of raising the school leaving age cannot be predicted, only promptly measured.
Wider Spectrum	
Comprehensive Reorganisation	
1. Setting up a reorganisation plan.	Definition of objectives necessary, and difficult.

2. Transition of comprehensive organisation.	High priority; two man-year OR workload.
3. Uncommon specialised school facilities.	An allocation problem where objectives and logic need clarification.
4. School size.	Optima may vary in different areas.
5. Multi-Site schools.	An unavoidable by-product of reorganisation; allocation and administrative aspects might be attacked separately.
School Operations	
1. Timetabling.	High priority; a basis of computer programming exists.
2. Ancilliary school staff for non-professional tasks.	Unfavourable climate of opinion, at present. Large amounts of data analysis needed when it can be done.
3. Specialist non-teaching staff, e.g. laboratory assistants.	A separable part of 2.
Further Education	
1. Balance between F.E. provision and school provision for those over school leaving age.	Related to studies of F.E. demand and rate of leaving school. At present F.E. and schools administered separately to a large degree, both centrally and locally.
2. F.E. Timetabling.	Akin to but more complicated than school timetabling. Computer solutions indicated.
3. F.E. demand in local areas.	Problem identified in I.O.R. report; high local and national priority.
School Meals	
1. Relation of kitchen and dining space provided to local variations in demand.	Between 50 % and 90 % may lunch at school; a problem for regression analysis.
2. Routing of school meals deliveries.	See below.
Transport of School children	
1. Contract procedures.	A service often sub-contracted to private operators; see below.
2. Vehicle routing.	A standard and rewarding type of OR application; some work already done on specifically school situation.
3. Transport integration between different local government services	Could go outside purely educational functions; pay-off not yet clear
School supplies	
1. How should schools order supplies ?	A clear pay-off and high priority; good progress made.

2. Stock control in schools.	A small, useful project.
<u>Miscellaneous and General</u>	
1. Pupil/student documentation.	To relate information gathering to subsequent decisions; local and national needs interlock.
2. School catchment areas.	Objectives imprecise in deciding these; OR techniques may be too sophisticated to help define them at present.
3. Teacher supply.	See text p. 305 and 306.
4. Use of education facilities for other purposes; dual use of premises.	Not urgent for education, but could alter overall amenity investment patterns. Related to uncommon school facilities problem.
5. Forecasting school populations, locality by locality.	Fundamental to building plans; work proceeding.
6. Building programme delays.	Very urgent; central government involvement needed in any study. Network analysis should be applied to the whole planning process.
7. Contract procedures.	Important for local government generally; some work for central government proceeding.

Appendix II

Operational Research in National Educational Planning

A report by the Institute for Operational Research

The Institute

Set up in 1963 by the Tavistock Institute of Human Relations and the Operational Research Society, The I.O.R. is a non-profit body (but largely financed from contract fees) for the advancement of OR applications, techniques and training. It deliberately takes a very broad view of what constitutes operational research. About a dozen senior scientists were working on I.O.R. projects at the time of this report.

Methods

After a preliminary round of consultations in the D.E.S., it was agreed that of the problems presenting themselves, the estimation of future F.E. demand was most suitable for the more intensive feasibility study. Probing of this issue in the D.E.S. and among Her Majesty's Inspectors of Education led to further interviews nearer the source of the flow, both at local level and among other bodies connected with industrial training. The situation proved highly complex, and a good deal of effort was required on general theoretical points. This led to the evolution of general theses on the role of OR with decentralised decision making. A programme of pilot projects was elaborated, and alternative possible applications reviewed, as a basis for formulating a programme for the development of a permanent OR function in education.

The theoretical side of this study breaks new ground which will be of general interest for many administrative situations. The feasibility study in Further Education brought out especially clearly the interdependence of local and national questions.

Period of the Study

November 1965 - June 1966

OR Applications Identified

Short Description	Remarks
Teacher Training and Supply.	An optimisable model proposed, needing 5-6 OR man-years. A suggested initial pilot study.
Further Education Demand in Local Areas.	The proposed 3 1/2 - 4 1/2 OR man-year pilot study would indicate routes to a common demand estimating procedure. Both a model of F.E. provision and a study of decision making would be needed.
Planning Capital Programmes.	A pilot study is proposed in F.E. Multiple measures of effectiveness for projects and a study of administrative means of preserving a sufficient range of choice would have to be developed.

Standards and Qualifications.	The continual rise in the educational standards required as vocational qualifications has implications for education planning. An analytic OR investigation could deepen understanding of how this phenomenon arose and affected pursuit of other objectives.
Demand for Trained Manpower.	A similar problem to that above.
The Spread of Innovations.	Basically an anlysis of information flows. There is a possibility of applying an epidemilogical model.
Logistic Problems.	Included under "housekeeping" applications.

RESUME

DEUX ETUDES DE L'O.C.D.E. SUR LES POSSIBILITES D'APPLICATION
DE LA RECHERCHE OPERATIONNELLE DANS L'ADMINISTRATION DE L'ENSEIGNEMENT
EN ANGLETERRE ET AU PAYS DE GALLES

La recherche opérationnelle dans la planification

La recherche opérationnelle se distingue des autres méthodes d'analyse non-scientifique essentiellement par le fait qu'elle utilise des modèles; le rapport émanant de l'Institut de Recherche Opérationnelle (I.O.R.) présente une classification des modèles actuellement employés dans les études de planification de l'enseignement. Les systèmes scolaires se trouvent placés dans un milieu extérieur à eux-mêmes, ils sont affectés à la fois par les conditions et par les objectifs sociaux et économiques. Pour les modèles tel que celui proposé par Tinbergen, "qui examine la compatibilité logique entre les hypothèses de la planification économique et celles faites au même moment sur la "production" du système, il vaudrait mieux parler de modèles de l'environnement de l'éducation, selon les propres termes du rapport de l'I.O.R. Ces modèles de l'environnement se distinguent des modèles de prédiction du système lui-même, du genre de ceux auxquels travaillent, en Grande-Bretagne, le "Department of Education and Science" et la "London School of Economics". Dans les nombreux cas où la planification se situe hors de l'enseignement, il suffit que le modèle simule le système scolaire lui-même et ses relations avec son environnement; à partir de ces informations, l'autorité centrale peut prendre ses décisions selon les différentes situations, et tracer la marche à suivre pour atteindre ses objectifs. Dans le système scolaire britannique et dans celui de beaucoup d'autres pays, nombre de décisions importantes sont prises en dehors de l'autorité centrale. Etant donné ces centres de décisions,multiples, tout auteur de décision cherchant à atteindre les objectifs qu'il s'est fixés pour l'ensemble du système, doit tenir compte des décisions que prendront vraisemblablement les autres autorités qu'il ne contrôle pas directement. Il a donc besoin d'un modèle du processus de décision, qui doit naturellement être compatible avec le modèle de l'environnement et celui du système.

Ceci conduit la recherche opérationnelle sur un terrain qui ne lui est guère familier. Ainsi que Rivett et Ackoff l'ont exprimé en 1963, "les relations entre les auteurs de décision réagissent les unes sur les autres, peuvent être coopératives ou concurrentielles. Jusqu'à présent, malheureusement, on a très peu fait d'analyses visant à améliorer la coopération, mais beaucoup pour accroître la réalité de la compétition". Les relations entre les auteurs de décision en matière d'éducation ont un caractère coopératif, dans les intentions (au moins en Grande-Bretagne). Aussi l'étude de l'I.O.R. ouvre-t-elle de nouveaux horizons à la recherche opérationnelle, qu'il s'agisse de la théorie ou de ses applications. Le diagramme 1 montre comment le rapport considère l'ensemble de la situation dans laquelle se trouve l'autorité centrale de planification de l'enseignement.

L'autorité centrale de planification modifie le cours des événements par des interventions sélectives dans le processus de décision; interventions comportant "... non seulement le contrôle des fonds et l'exercice des pouvoirs statutaires, mais aussi la publication

de projets ou d'estimations assortis de conseils et d'exhortations de diverse nature". (Rapport de l'I.O.R.). Pour choisir ces interventions dans l'arsenal dont il dispose, le planificateur et coordinateur central peut utiliser les trois types de modèles, aux différents stades du processus qu'il emploie :

- "acquisition d'une connaissance suffisante du milieu environnant, du système d'opération lui-même et du processus de décision";
- "acquisition d'une connaissance des effets à escompter d'un ensemble d'interventions possibles";
- "choix des interventions qui paraissent offrir les meilleures chances de répondre aux objectifs du système d'enseignement, tels qu'ils sont considérés par l'autorité centrale de planification". (Rapport de l'I.O.R.)

De grands progrès ont été accomplis en ce qui concerne les deux premiers types de modèles, mais, comme le souligne l'I.O.R., "il n'y a pas de précédents nets de modèles mathématiques du processus de décision, que ce soit dans le domaine de l'éducation ou dans toute autre sorte de planification..." Dans d'autres domaines, les jeux stratégiques et les jeux d'entreprises peuvent donner des indications utiles sur le comportement du décideur, mais l'idée d'étendre cette méthode à la prise de décisions visant l'enseignement, si elle est implicitement contenue dans le rapport, n'est pas explicite. Une annexe donne à titre d'exemple un modèle, d'un type nouveau pour les cas de prises de décisions multiples. Le problème y est envisagé sous l'angle du coordinateur. On pourrait considérer l'influence des différents auteurs de décision comme un ensemble de forces qui sollicitent le système dans les directions différentes. La somme de ces vecteurs définit la voie dans laquelle s'oriente en fait le système en question. Ainsi, la tâche du coordinateur ne consiste pas simplement à tenter d'entraîner le système directement vers les objectifs qu'il lui a fixés, mais plutôt à exercer une influence d'une puissance suffisante et dans une direction telle qu'elle contrebalance ou "corrige" la résultante des autres décisions qui tendent à diriger le système dans une voie qui l'écarte de ces objectifs. Le diagramme 2 illustre cette notion.

Ce diagramme représente un processus de décision en trois stades qui détermine l'effectif futur et le type d'élèves, avec intervention d'un coordinateur. L'objectif du coordinateur (CO) est figuré dans l'angle supérieur, à droite. L'influence de chaque auteur de décision (et du coordinateur) est représentée par une ligne dont la direction indique l'orientation qu'il s'efforce de donner au système et dont la longueur est proportionnelle à l'importance de son influence sur le résultat final. Ainsi le premier décideur (S1) a une influence relativement faible, mais il recherche à peu près le même équilibre que le coordinateur entre un plus grand effectif total d'élèves et un niveau supérieur de connaissances. Le second auteur de décision (S2) a plus d'autorité, mais il s'efforce de réduire le nombre des élèves de niveau supérieur. Au contraire le troisième (S3), qui a plus d'influence que les deux autres réunis, est très favorable à l'accroissement de ce nombre. L'intervention du coordinateur (I) n'a donc qu'à s'exercer en faveur de l'accroissement de l'effectif total. (Si les trois auteurs de décisions avaient agi simultanément et non consécutivement, le résultat ou la somme de leur influence représenté par S^x, aurait été nécessaire). Reste à savoir si un modèle de ce genre pourrait ou devrait être quantifié.

Les auteurs du rapport de l'I.O.R. font état de ce modèle vectoriel lorsqu'ils tentent d'évaluer la demande future de places dans les collèges techniques, et de créer la capacité d'accueil correspondante. Dans le même ordre d'idées, ils soulignent que le planificateur central doit obligatoirement avoir en tête un modèle, quantifié si possible, des influences agissant sur les auteurs de décisions les plus importants à l'échelon local. Le directeur

d'un collège technique détient à leur avis un grand pouvoir, dans la mesure où c'est lui qui décide des cours nouveaux qui seront inscrits au programme de l'école, et l'on pense que la première chose à faire, pour pouvoir mieux apprécier l'extension de ces nouveaux cours dans l'ensemble du pays, serait d'établir un modèle de la prise des décisions à cet échelon de l'administration.

Prévisions de la demande

Le système d'enseignement complémentaire (further education) dont les collèges techniques constituent l'élément principal, a pour but essentiel de satisfaire les besoins en personnel qualifié de l'industrie et du commerce, et le plus clair de son activité est dirigé dans ce sens. Comme on peut le penser, il se développe rapidement. Prévoir le taux et le mode de sa croissance future est un problème extrêmement important. Il est tenu des statistiques assez détaillées du nombre des élèves, par niveaux et types d'études, à plein temps ou à temps partiel, et l'on a jusqu'ici estimé la demande future en projetant les tendances que révèlent ces chiffres. Les crédits pour permettre l'expansion de l'ensemble sont accordés en fonction de la demande ainsi évaluée. Comme la demande potentielle n'a pas été considérablement surestimée, les nouveaux collèges ont rapidement leur effectif complet d'élèves, mais comme rien n'indique encore l'ampleur de la demande potentielle non satisfaite, il est impossible actuellement de dire dans quelle mesure l'enseignement complémentaire répond aux besoins de l'industrie et du commerce.

Lorsqu'il eut découvert cette lacune, l'I.O.R. fut directement amené à entreprendre une analyse pour déterminer tout d'abord l'unité permettant de mesurer la demande, c'est-à-dire le programme d'enseignement d'un collège technique et d'étudier à partir de là le processus conduisant au développement d'un programme existant ou à la création d'un programme qui n'était pas jusqu'alors professé dans le collège. La procédure à suivre pour soumettre une proposition visant à l'introduction d'un nouveau programme, et les différents stades par lesquels doit passer cette proposition avant d'être approuvée, furent provisoirement définis. Cette étude de possibilité conduisit l'I.O.R. à identifier le directeur d'un collège technique comme le personnage-clé qui introduit ces propositions dans le mécanisme d'homologation officiel - à savoir les différents services compétents - et, dès lors, à lui attribuer un rôle très important dans la détermination du mode de croissance du système. Il s'ensuit que la voie vers une meilleure évaluation, soit de la demande prévisible, soit du développement souhaitable de l'enseignement complémentaire, passe par une étude des pressions qui s'exercent sur le directeur du collège technique et des réactions qu'elles provoque chez lui.

Dans sa principale étude de possibilité, le "Local Government Operational Research Unit" (L.G.O.R.U.) s'est surtout attaché à un autre aspect de la prévision de la demande. En 1971, l'âge minimum légal de fin de scolarité obligatoire sera porté à 16 ans. Il est assez facile pour les autorités locales (et les services centraux), de déterminer le surcroît d'élèves âgés de 15 ans qui seront vraisemblablement retenus dans les écoles à la suite de cette mesure, mais, à l'heure actuelle, il n'y a aucun moyen d'en évaluer les conséquences sur le nombre des élèves âgés de 16, 17 ans et plus qui pourraient souhaiter poursuivre leurs études. Le L.G.O.R.U. a essayé de résoudre ce problème par la recherche opérationnelle, sans réussir tout à fait. La nouvelle situation créée par la prolongation de la scolarité obligatoire et l'institution presque simultanée d'écoles secondaires polyvalentes, ne permettait pas de se fier à aucun des modèles basés sur l'expérience passée. toutefois, on pouvait recourir à une analyse de régression pour identifier quelques indices permettant de prédire avec exactitude l'évolution actuelle et récente du nombre des élèves poursuivant volontairement leurs études. Ces indices de prévision aideraient les autorités

à résoudre leurs problèmes de planification. En suivant attentivement l'évolution à la fois de ces indices et du nombre des élèves poursuivant leurs études avant et immédiatement après l'entrée en vigueur des nouvelles dispositions, on aurait de fortes chances de pouvoir mesurer toutes les variations de tendances, plusieurs années plus tôt que ne l'auraient permis les statistiques habituelles. Ceci peut avoir une importance considérable pour la répartition des ressources consacrées à l'enseignement, tant au plan national qu'au plan local.

L'analyse de régression que le L.G.O.R.U. a proposée pour l'étude de l'évolution du nombre des élèves qui poursuivent leurs études est tout à fait analogue à la méthode qu'il emploie pour déterminer la population d'âge scolaire, dans des localités d'environ 3.000 habitants. Ce système est appliqué dans un Comté et l'usage s'en étend aux nouvelles cités construites en Ecosse. Bien qu'il ait été conçu pour résoudre des problèmes locaux - à savoir déterminer la taille et l'implantation des nouvelles écoles - il permettra, si son application peut être généralisée, de prendre une mesure bien plus exacte des besoins nationaux en ce domaine qu'il n'a été jusqu'alors possible de le faire. Bien que de nombreux facteurs restent encore à étudier pour mettre au point cette technique, les indications recueillies actuellement tendent à montrer que la plupart des variations de la croissance de la population scolaire peuvent être imputées à deux facteurs : le chiffre des naissances dans la zone considérée cinq ans auparavant et les nouvelles habitations, réparties selon le type et les dimensions, qui ont été terminées dans la zone en question au cours de l'année précédente. Bien que ce travail ne soit pas souligné dans le rapport présenté à l'O.C.D.E., peut-être parce qu'il a été mis en chantier un peu plus tôt, on pourrait utilement s'en inspirer pour des études parallèles dans un certain nombre d'autres pays.

L'offre de personnel enseignant

Les deux rapports envisagent aussi le problème de la demande de personnel enseignant. En Grande-Bretagne, l'offre totale de professeurs fait l'objet d'une planification plus approfondie que que ne l'est celle de tout autre groupe de personnel spécialisé. Cependant, comme le rapport du L.G.O.R.U. le souligne :

"Les élèves-maîtres sont recrutés par les autorités locales avant que ne soit connue la nature exacte des postes à pourvoir. Il s'ensuit que beaucoup d'écoles doivent modifier leur programme d'études afin de l'adapter au personnel enseignant qu'on leur donne. De plus, dans différentes zones dépendant d'une même autorité, la répartition du personnel enseignant en fonction des disciplines n'est pas toujours effectuée rationnellement.

"... Dans le recrutement du personnel enseignant à l'échelon local, le problème principal est de convaincre ces professeurs d'enseigner dans des zones peu attrayantes".

Ce problème subsiste bien que chaque autorité se voit attribuer un quota maximum d'enseignants à plein temps, en vue précisément de remédier à cette situation fâcheuse.

A l'échelon national, on établit depuis quelques années des projections du nombre de maîtres à recruter pour respecter les normes de dimension des classes. Ces projections tiennent compte de la structure d'âge et du sexe, ainsi que du taux de déperdition dans le corps enseignant, mais rien n'est prévu pour compenser les incertitudes de la situation, pas plus d'ailleurs que ne sont envisagées des procédures d'optimalisation systématique en vue de déterminer la voie la moins coûteuse pour atteindre l'objectif choisi. Le rapport de l'I.O.R. préconise un type de modèles qui permettrait de réviser les objectifs et qui montrerait comment un ensemble d'objectifs peut être atteint de la manière le plus sûre et avec le

minimum de dépenses. Le modèle cité en exemple dans le rapport est très simplifié. Il ne prend en considération que quelques facteurs : déperditions parmi les enseignants en exercice, déperditions à prévoir parmi les nouveaux venus (en distinguant le cas des hommes et des femmes) ainsi que les limites du taux de construction de nouvelles écoles normales et du recrutement de professeurs qualifiés pour ces institutions de formation. Cependant, la structure de base est susceptible d'être perfectionnée pour tenir compte d'autres facteurs: méthodes différentes de formation des professeurs, degrés de spécialisation et niveaux de qualification différents, mesure dans laquelle les professeurs sont liés à certaines localités en particulier, etc.

Pour parvenir à une solution optimale de ce modèle, des coûts unitaires sont stipulés pour les traitements des professeurs, les frais de leur formation et les coûts de construction des nouvelles écoles normales. Afin d'apprécier l'élément investissement, tous les frais à prévoir dans l'avenir sont affectés d'un taux d'intérêt approprié. Résoudre le modèle a pour but de déterminer le minimum d'une fonction qui représente à la fois les coûts escomptés et les pénuries de professeurs auxquelles il faut s'attendre dans l'avenir, l'offre pouvant tomber en-dessous des normes prises pour objectif, coûts et pénuries étant totalisés pour toutes les années du programme. L'I.O.R. a clairement laissé entendre que, pour combiner ces deux critères, il est nécessaire d'attribuer une valeur monétaire aux pénuries (ou une valeur de pénurie aux coûts), mais qu'une telle valeur est déjà implicite dans les plans actuels. En rendant cette équivalence explicite dans le modèle, on pourrait procéder à des expériences avec des valeurs différentes, qui conduiraient peut-être à concevoir un modèle reflétant plus fidèlement les priorités dont sont conscients les responsables de la politique de l'enseignement. Il découle, d'autre part, de la logique du modèle que ces pénuries futures devraient aussi être affectées du même taux d'intérêt que les coûts futurs. Pour souligner l'inconvénient, comparativement important, qui résulte d'importantes pénuries d'enseignants, on suggère que le nombre de professeurs faisant défaut chaque année soit élevé au carré, avant d'être introduit dans la fonction d'optimalisation. Même si l'on adoptait, pour planifier l'offre de personnel enseignant, une méthode moins perfectionnée qui ne relèverait pas de la recherche opérationnelle, cet exercice relativement simple de logique des modèles fait apparaître clairement que tous ces points doivent être pris en considération.

En ce qui concerne l'offre du personnel enseignant, les problèmes de pénurie doivent être traités d'abord à l'échelon national. Ceux qui se posent au niveau local ne peuvent être résolus que dans la mesure où il y a, dans l'ensemble du pays, une offre suffisante de professeurs. On se trouve devant une situation inverse de celle que nous avons constatée à propos de la demande d'enseignement complémentaire, mais qui révèle une interdépendance identique entre l'échelon central et les échelons locaux, et qui constitue, comme le démontrent les rapports, un cas typique d'application de la recherche opérationnelle à la planification de l'enseignement.

Programmes d'investissements

Que les locaux et les équipements scolaires soient des normes d'investissement productif est un fait maintenant évident pour tous ceux qui participent aux activités de l'O.C.D.E.; mais la difficulté d'obtenir ou de mesurer le rendement maximal de cet investissement est presque aussi évidente. Les différents profits que cet investissement rapporte ne peuvent être totalisés sous une forme commode. L'I.O.R. estime que cela ne doit pas interdire l'usage de techniques quantitatives pour améliorer les rendements théoriques. Il est possible de prendre une série de mesures isolées des profits attendus, et d'utiliser

l'ensemble des résultats pour définir, non pas un choix optimal unique, mais une zone dans les limites de laquelle un choix pourrait être fait.

A première vue l'idée est séduisante. La difficulté réside actuellement dans le fait qu'en Grande-Bretagne, et peut-être dans d'autres pays où les services centraux ou les autorités locales décident en dernier ressort de la répartition des investissements, les projets qui parviennent à l'échelon central ont été si soigneusement passés au crible que l'application des méthodes de recherche opérationnelle est, ou bien superflue ou bien sans objet. Si, dans d'autres pays, il existe des administrations centrales qui ont latitude de choisir entre toutes les possibilités qui s'offrent en matière de constructions scolaires, et si ces administrations ne sont pas tenues d'approuver, séparément, des projets individuels, elles pourront trouver dans cette idée un moyen extrêmement séduisant de trier la masse d'options qui leur est proposée.

La diffusion des innovations

Les innovations qui changent les paramètres techniques de l'enseignement ont généralement un contenu pédagogique, mais elles peuvent exercer une influence moyenne (dans les deux sens) sur l'efficacité du système, à dépenses égales. A supposer que leur diffusion soit souhaitable, l'I.O.R. suggère que les méthodes de recherche opérationnelle pourraient servir à accélérer et à faciliter la diffusion des informations et des vérifications nécessaires. Le modèle évoqué est une analogie avec l'épidémiologie. L'idée est curieuse, mais elle est présentée dans le rapport à titre de suggestion, plutôt que de proposition mûrement réfléchie.

Problèmes d'administration courante

Il n'y a pas de démarcation précise entre la planification et les tâches de gestion. Mais il est commode d'isoler les applications proposées de la recherche opérationnelle qui semblent pouvoir être utiles, que l'on ait ou non à résoudre les problèmes que pose un système en expansion et en mutation. C'est dans cette catégorie que se rangent les quelques suggestions suivantes concernant les applications de la recherche opérationnelle à l'administration courante de l'enseignement (bien d'autres sont énumérées dans les annexes); certaines d'entre elles pourraient être d'ailleurs utiles pour faciliter l'évolution du système.

La préparation des emplois du temps est une besogne fastidieuse pour tous les établissements d'enseignement. Le L.G.O.R.U. propose, pour mécaniser ce travail, une méthode de recherche opérationnelle sur ordinateur. Si ce procédé peut être appliqué avec succès à la solution d'un problème combinatoire d'une ampleur prodigieuse, non seulement on épargnera un nombre considérable d'heures de travail à des professeurs chevronnés, mais, ce qui est plus important encore, on aura supprimé une entrave sérieuse s'opposant à ce que l'emploi des ressources d'une école ou d'un collège soit adapté aux besoins.

Bon nombre d'écoles et de collèges doivent souvent faire face au problème que pose la répartition de leurs activités en deux ou plusieurs endroits séparés. Cette dispersion des locaux risque de devenir de plus en plus fréquente en Grande-bretagne avec la création d'établissements polyvalents dans le cadre de la réorganisation de l'enseignement secondaire. Le rapport du L.G.O.R.U. propose un exercice de recherche opérationnelle en deux points dont le but est de minimiser la perturbation des activités d'enseignement que peut provoquer cette réforme. Les techniques de répartition évoluées de la programmation linéaire peuvent être appliquées à la recherche d'un lieu d'implantation pour certaines activités particulières

ou pour des moyens d'enseignement spécialisés. La mise en oeuvre d'un modèle des activités et de l'emploi du temps de l'école peut être nécessaire pour étudier les différentes techniques administratives de gestion et pourrait exiger le double des ressources nécessaires à la solution du problème des répartitions; mais même dans ces conditions, l'entreprise vaut d'être tentée.

Quels approvisionnements faut-il commander à quel moment ? Lesquels faut-il mettre en stock ? En quelles quantités et où ? Voilà autant de problèmes types d'administration courante et aussi autant d'applications classiques de la recherche opérationnelle. Le L.G.O.R.U. attribue à l'étude du contrôle des stocks et des approvisionnements dans les écoles une haute priorité dans ses futurs travaux. Il a pu constater qu'un critère sub-optimal, tel que la réduction des frais de gestion des services d'achat est fondamental, et qu'il y a des espaces considérables d'emmagasinage dans les écoles qui n'ont pas fait l'objet d'une évaluation comptable. Le rapport laisse prévoir qu'au prix de quelques mois de travail de chercheurs opérationnels, d'importantes économies pourraient être réalisées.

Pour les transports, le L.G.O.R.U. propose que les problèmes d'utilisation des véhicules pour le ramassage scolaire, aussi bien que pour l'acheminement des fournitures et du ravitaillement, soient étudiés au moyen de techniques bien établies de calcul électronique qui permettraient des économies de l'ordre de 5 %. Si on appliquait les méthodes de recherche opérationnelle pour étudier les possibilités d'intégrer ces transports (et peut-être ceux des services d'autres autorités locales), on pourrait escompter des économies supplémentaires. Dans les zones où la population est clairsemée, ces études de transport pourraient se répercuter sur le choix des emplacements des nouveaux centres scolaires.

Les transports, comme beaucoup d'autres activités incombant aux autorités locales, sont souvent confiés à une entreprise extérieure, ce qui pose régulièrement les questions suivantes : faut-il procéder par appel d'offres ouvert à tous ou à un petit nombre ? Pour quelle période, les contrats doivent-ils être établis ? Quels doivent être les arrangements proposés ou les garanties offertes aux adjudications ? Le L.G.O.R.U. propose de traiter ces problèmes de procédures de contrat, en établissant un modèle du marché, en étudiant les moyens d'améliorer la coopération entre les autorités locales et les entrepreneurs et en recourant à des "jeux d'entreprises" conçus à l'intention des fonctionnaires des administrations locales.

On peut également faire une étude de recherche opérationnelle dans un domaine qui intéresse à la fois l'administration courante et la planification, à savoir la documentation sur les élèves et les étudiants. Répondant à la fois aux besoins de statistiques nationales (comportant en particulier des données individualisées) et de contrôle à l'échelon local, le L.G.O.R.U. suggère de procéder à :

> "Une étude du réseau de communications et des processus de décision qui révéleraient les facteurs critiques devant être mesurés.
>
> "L'objet d'une telle étude serait de déterminer les informations à obtenir et les moyens optimaux de les réunir et de les traiter".

OPERATIONS ANALYSIS IN THE U.S. OFFICE OF EDUCATION

by David S. Stoller

The U.S. Office of Education is that Agency of the U.S. Department of Health, Education and Welfare that is directly responsible for the administration and evaluation of Federal educational programmes. Programmes administered by the U.S. Office of Education account for somewhat more than eight percent of the roughly $50 billion annual expenditure on education in the U.S. The American educational system is characterised by its diversity of funding and administration : federal, state, county, city, and district - public and private.

In order to comprehend, the impact of funds provided by the U.S. Office of Education, one must first comprehend the system to which the funds are provided - and to make such comprehension possible is the major task of the National Center for Educational Statistics. A large, intricate, and comprehensive educational information system must be maintained including the design of forms, liaison and communication with the sources of data - and their sources are as diverse as the American educational system structure would indicate. Raw data must be brought into the Center, checked for accuracy and consistency, and converted to digital form and stored on magnetic tapes.

Electronic computing machine programmes must be developed so that the data can be selected and presented in machine tabulations. Educational statistical analyses must be prepared for distribution to the government, the educational community, and all other users of such analyses. A recent addition to these data and statistical functions is the use of operations analysis in studying the educational system.

Operations analysis has been widely used by many governments to evaluate military operations. This inter-disciplinary scientific approach to the problems of process analyses and decision making has been widely adopted by industry in many countries, because operations analysis, in common with many other technological developments, like radar and jet aircraft, can be applied to either peaceful or martial activities. The spread of the use of these methods in the American educational system and in the U.S. Office of Education is very recent.

Naturally, the scope of the studies in the Division of Operations Analysis is determined by the nationwide perspective of the Office of Education. We are studying a number of problems "from the top down", so to speak, because a major part of our effort must be devoted to evaluating the state of the American educational system and ascertaining the impact of Federal programmes on this system.

One of our major studies is the development of computer based models of the growth of student and teacher populations - electronic educational demography, so to speak. Our prototype model in this effort, which we call DYNAMOD I, calculates year-to-year changes in a number of student and teacher populations cohorts, defined by sex, race, age, level of educational attainment and income.

Another of our studies constituted a significant contribution to the recently published Office of Education publication : Equality of Educational Opportunity. This was a survey to determine the lack of availability of equal educational opportunities for individuals by reason of race, colour, religion, or national origin. By sampling school systems and

pupils, objective data was obtained to oppose a welter of conflicting opinions and prejudices. Test scores in subject matter achievement in verbal, reading, mathematics, general information, and non-verbal categories indicated, for example, that Negro pupils in the non-metrppolitan South score lower than Negro pupils in the metropolitan North. Most important, we found that the characteristics of the School and teacher accounted for deficiencies in achievement recorded for lower achieving groups.

A significant part of the programme of the Division of Operations Analysis is concerned with the economics of education. We know that demographic methods alone cannot account for all of year-to-year changes in student and teacher populations. Individuals "drop out" of the student cohorts for a number of sociological and economic causes, and we feel that economics is an extremely important factor.

But over and above the impact of economic conditions on the dynamics of student and teacher populations, our educational economics studies are directed towards the concept of education as a capital investment in a nation's economy. One of our studies is directed towards the benefits derived by the individual from investment in education. Another is examining the relationship between nationwide labout force patterns and educational and training requirements needed to support these patterns. We firmly reject the concept that a gainful employment is an activity unrelated to education, that an individual turns to only after he voluntarily or otherwise terminates his education.

Although we feel that detailed models of educational processes are primarily the responsibility of other agencies, such as departments of education of the individual states, large school districts, educational research institutes, and universities, the study of educational opportunities demonstrated to us that the responsibility for evaluating the impact of Office of Education funding on the educational systems requires analysis of the instructional process and the school, community and family environment of the pupil.

We are presently at work on models for evaluating the impact of funds allocated by the Office of Education to various school districts specifically for the purpose of improving the educational opportunities for pupil groups who are currently educationally disadvantaged. For this fiscal year, the magnitude of the programme can be gauged by the dimension of level of funding : one billion dollars.

One approach to this problem is that of the highly aggregated cost/bebefit type of analysis, e.g., benefits will be assessed in terms of overall data such as impact of drop-out rates, increases in teaching staff, etc. There is a widespread feeling among educators and analysts that we must somehow get inside of the educational system to fully comprehend the benefits accruing from specific grants. So in addition to the "usual" cost/benefit approach, we are experimenting with a model that goes "down" into student-teacher interactions as a vital ingredient in the analysis.

In conclusion, let me say that the primary goal of the programme of operations analysis is to assist on the monumental task of achieving understanding of the operation of the American educational enterprise as a significant economic and social component of the nation's life.

A narrower but equally important objective is the evaluation of programmes administered by the Office of Education. Other agencies, such as the National Science Foundation and the National Aeronautics and Space Administration are also consumers of our technical product.

A side benefit of our programme of Operations Analysis is the extensive reformulation and expansion of the Office's educational information system. Data required for all evaluation models generally turn out to be data useful at all levels of decision-making, and this year's research data will turn out to be next year's management data.

RESUME

L'ANALYSE DES OPERATIONS PAR LE
U.S. OFFICE OF EDUCATION

Le Bureau de l'Education des Etats-Unis (U.S. Office of Education) qui dépend du "Department of Health, Education and Welfare", est directement chargé de la gestion et de l'évaluation des programmes scolaires, à l'échelon fédéral. Ces programmes représentent un peu plus de 8 % du montant global - environ cinquante milliards de dollars - des dépenses annuelles d'enseignement aux Etats-Unis, où le système scolaire est caractérisé par la diversité des budgets et de l'administration : administration fédérale, des Etats, des comtés, des villes et des districts - publique et privée.

Pour saisir l'impact des fonds fournis par le Bureau de l'Education des Etats-Unis il faut d'abord comprendre le système auquel ces fonds sont dispensés - rendre cette compréhension possible est la tâche la plus importante du Centre National des statistiques scolaires ("National Center for Educational Statistics"). Cela suppose un vaste système, complexe et complet, de renseignements sur l'éducation qui tienne compte du schéma de l'organisation, de la liaison et des communications avec les sources des données - sources qui sont aussi diverses que la structure du système scolaire des Etats-Unis le laisse supposer. Les données brutes doivent être transmises au Centre, vérifiées pour exactitude et cohérence, transposées sur cartes perforées et conservées sur bandes magnétiques.

Une programmation pour ordinateurs électroniques doit être mise au point de telle sorte que les données puissent être sélectionnées et présentées sous forme de tabulations utilisables par les machines. Les analyses des statistiques scolaires doivent être préparées sous une forme qui permette de les transmettre au Gouvernement Fédéral, aux milieux s'intéressant à l'éducation et à tous les autres utilisateurs concernés. On a récemment ajouté à ces fonctions relatives aux données et aux statistiques, celle de l'analyse des opérations pour l'étude du système d'enseignement.

Une de nos plus importantes études vise à mettre au point des modèles, traités par ordinateur, de la croissance de la population scolaire et du corps enseignant, c'est-à-dire si l'on veut, d'une démographie électronique de l'enseignement. Notre modèle prototype dans cette tentative, que nous appelons DYNAMOD I, calcule les changements intervenant d'une année sur l'autre dans un certain nombre de cohortes d'élèves et d'enseignants, définies par le sexe, la race, l'âge, le niveau d'éducation et le revenu.

Nous avons également - et ce fut l'objet d'autres travaux - apporté une contribution importante à l'ouvrage "Egalité des chances devant l'enseignement, récemment publié par le Bureau de l'Education. Le but de cette étude était de déterminer l'inégalité des chances d'accès à l'enseignement tenant à la race, la couleur, la religion ou l'origine nationale des individus. Par un échantillonnage des systèmes scolaires et des élèves, des données objectives ont été rassemblées qui battent en brèche un fatras d'opinions et de préjugés. Des tests par questionnaires portant sur le niveau des connaissances dans des matières orales - lecture, mathématiques, information générale - et les matières écrites, ont montré, par exemple, que les élèves de couleur dans le Sud, en milieu rural, ont des résultats

inférieurs à ceux des élèves noirs vivant dans le Nord en milieu urbain. Constatation plus importante encore, nous avons trouvé que les caractéristiques de l'école et du professeur étaient responsables des mauvais résultats enregistrés dans les groupes mal notés.

Une partie importante du programme de la Division d'analyse des opérations est consacrée aux problèmes économiques de l'enseignement. Nous savons que les méthodes démographiques ne peuvent par elles-mêmes rendre compte de tous les changements constatés d'une année à l'autre au sein de la population scolaire et du corps enseignant. Les élèves "abandonnent" les cohortes pour de nombreuses raisons sociologiques et économiques, les secondes étant, à notre avis, extrêmement importantes.

Mais par-delà les répercussions des conditions économiques sur la dynamique de la population scolaire et du corps professoral, nos études sur l'économie de l'enseignement tendent à montrer que l'éducation est pour le pays un investissement en capital. L'une d'elles a pour objectif d'apprécier les bénéfices que tire l'individu de l'investissement dans l'enseignement. Une autre a pour but d'examiner le rapport entre le mode de structure de la main-d'oeuvre, au plan national, et les besoins en éducation et en formation nécessaires pour répondre à cette structure. Nous rejetons sans hésiter la notion selon laquelle un emploi rémunéré est une activité sans liens avec l'éducation, et dans laquelle un individu ne s'engage qu'après avoir, de son plein gré ou non, achevé ses études.

Certes, les modèles détaillés de processus d'éducation incombent avant tout à d'autres organismes : ministère de l'éducation, grands districts scolaires, instituts de recherche sur l'enseignement, universités; mais l'étude des chances devant l'enseignement nous a prouvé que si l'on cherche à évaluer l'impact du budget du Bureau de l'Education sur les systèmes scolaires, il faut une analyse du processus d'enseignement, aussi bien que de l'école, de la communauté et du milieu familial dans laquel vit l'élève.

Nous travaillons actuellement à des modèles destinés à évaluer l'impact des fonds dispensés à divers districts scolaires par le Bureau de l'Education, en vue d'améliorer les chances d'accès à l'enseignement de groupes d'élèves aujourd'hui désavantagés. L'ampleur du programme de la présente année budgétaire peut être mesurée par le volume de ressources qui y sont consacrées : un milliard de dollars.

On peut aborder ce problème par une analyse coût/bénéfice à très grand agrégats; c'est-à-dire que les bénéfices seront calculés d'après les données globales telles que l'incidence des taux d'abandon, l'augmentation du nombre des professeurs, etc. Toutefois, les éducateurs et les analystes sont très nombreux à penser que nous devrions, d'une façon ou d'une autre, pénétrer à l'intérieur du système scolaire pour saisir pleinement les bénéfices dérivés de contributions financières spécifiques. C'est pourquoi, en plus de la méthode coût/bénéfice "ordinaire", nous expérimentons un modèle qui "descend" jusqu'aux interrelations élèves/professeurs considérées comme un élément fondamental de l'analyse.

EDUCATIONAL FACTORS ANALYSIS AND THE EDUCATIONAL OPPORTUNITIES SURVEY

by A.M. Mood, and F.D. Weinfeld
U.S. Office of Education

Operations Analysis in Education

Systems analysis in education has been moving slowly ahead trying to discover fruitful applications and probing in several directions in search of those in which substantial contributions can be made. The probings have been as much technique oriented as problem oriented because of the state of the art is as limiting a factor as is the availability of useable data. Extensive probings have occured in the area of economic analyses and initial studies have been made of the effects of education policy on gross national product, of systems operating in particular educational units, of flows of educational personnel, of models of resource allocation for planners.

In the Division of Operations Analysis of the U.S. Office of Education, we are working in these same areas; but the largest effort during the past year and a half has been in a rather different area which we have called educational factors analysis. The object of this analysis is to develop quantitative relationships between student achievement and important factors known to be related to achievement. Examples of such factors are : student's ability, student's attitude toward education, family socio-economic status, parents' attitude toward education, parents' assistance and support of the child in his school work, community attitudes toward and support of education, teacher competence, quality of school facility (building, library, laboratories, audio-visual equipment, etc.) school curriculum, school organization and management.

The analysis is not concerned with educational technology in the sense of teaching methods, organization of curricula and the like. Rather it is directed to the performance of the American educational system as a whole in transforming first graders into educated adults. More specifically it is concerned with relating the quality of the education of those adults to such factors as those listed above. Having established such relationships one would then have some guidance as to the relative importance of the factors and a way of estimating how much the quality of education might be improved if certain of the factors could be modified. That is, the analysis is concerned with characterizing the performance of the overall system in operational terms.

The implication is that such characterization will be of fundamental aid to those who are trying to increase the quality of American education. Especially it is intended to help two particularly important groups : those who are managing the educational system and those who are doing research and development in education.

The Users of the Survey

The managers of American education are school superintendents primarily, but in a very real sense the ultimate control is in the hands of local school boards which determine the policies and goals which the superintendents must pursue. Thus the American System is very

highly decentralized with every local system having its own policy-making body. On the other hand there is a great deal of uniformity in the system as a result of the fact that the day-to-day management is in the hands of a professional educator adhering to the widely accepted standards of his profession and usually having strong influence on his school board by virtue of the fact that he is the professional expert through which board members must realize their policies. We expect the educational factors analysis to be of great value to both these kinds of managers of education but possibly of greater value to the board members than to the superintendents. The latter already have considerable direct and intuitive understanding of how the system as a whole operates; for many of them the analysis may make only a little more precise what they already know.

The other large educational force which the analysis will assist is the research and development activity. Managers can modify some factors, but they cannot deal with others without new technology. (Of course there are still other factors that are quite outside their control in any case). Documentation of the relative importance of factors will indicate where research and development activity might do the most good from the point of view of educational achievement. It may also raise interesting questions as to why certain factors generally thought to be important seem not to have much effect on achievement. By and large, the analysis should raise important questions for research and development rather than answer questions; that is, it should help focus research and development activities.

The Origins of the Survey

In embarking upon this analysis we realize that some of the tools needed for doing it well are not available and hence that only rudimentary results can be expected for some years to come. A particularly serious difficulty lies in the fact that there are no good measuring instruments for many important educational outcomes. A great deal of effort has gone into development of instruments for measuring academic kinds of achievement; almost no effort has gone into development of instruments for measuring other kinds of achievement that many educators regard as equally or more important than academic achievement. Such outcomes are, for examples : social competence, self confidence, ambition, judgment, creativeness, responsibility and citizenship.

We are just now initiating development of instruments for measuring some of these kinds of outcomes so that several years will pass before data can be gathered and analysed.

Meanwhile we are proceeding to develop a model for relating educational factors to academic achievement. Such a model requires comprehensive data about the individual student and his school. This sort of data, gathered on consistent specifications at selected grade levels, is almost non-existent on a nationwide scale in the United States. We were fortunate, therefore, when the opportunity presented itself in the fall of 1965 for the collection of nationwide comprehensive student and school data. The United States Office of Education had been directed by the Civil Rights Act of 1964 to "conduct a survey and make a report to the President and the Congress, within two years of the enactment of this title concerning the lack of availability of equal educational opportunities for individuals by reason of race, color, religion or national origin in public educational institutions at all levels in the United States, its territories and possessions, and the District of Columbia".

The National Center for Educational Statistics undertook this task and collected the data with two major goals in mind. One was to collect data which would document the educational opportunity available in our country to different racial and ethnic groups of students in terms of a number of criteria which have been traditionally regarded as good indicators of school quality. These are such things as expenditure per pupil, class size,

teacher training, teacher experience, richness of curricula, quality of school facility and equipment, guidance and counseling programs, auxiliary program for health, arts, athletics and the like. The other major goal was to gather achievement data so that the traditional indicators could be related to achievement, and hence their relative importance to achievement could be estimated.

The first analysis of the data from this survey was presented to the President and the Congress in July 1966 in the 737-page publication, Equality of Educational Opportunity. In addition to the complete report, there has been published a 33-page Summary of the report and a 548-page Supplemental Appendix to the report which contains basic correlation matrices for samples of one thousand students from various regional, racial, and grade groups. (Copies of these publications are available at the U.S. Government Printing Office, Washington D.C.).

The Sample

Work was started on the Survey in the Spring of 1965, and plans were made for administration and testing in late September of 1965. The plans contemplated testing and surveying about 800,000 students in some 5,000 schools throughout the country in grades 1, 3, 6, 9, and 12 together with their teachers, principals and superintendents.

The Survey sample consisted of a 5 % sample of schools. This was a two-stage, self-weighting, stratified, cluster sample with counties and SMSA's being the Primary Sampling Units (PSU's) in the first stage and with high schools being the PSU's in the second stage. When a high school was drawn in the sample, the elementary schools feeding into that school were automatically included in the sample also. Since the Educational Opportunities Survey was primarily concerned with the children of minority groups, and since these groups constituted only about 10 % of the total school population, the schools were stratified according to the percentage of non-white students. Strata with higher percentages of these students were given larger sampling ratios and were sampled more heavily, with the final result that over 40 % of the students in the Survey were from minority groups.

Several sets of instruments were devised for collecting the required data. School data were obtained by means of questionnaires which were administered to the teachers, the school principals, and the superintendents of the participating sample schools. Participation of the schools in the Survey was on a voluntary basis and all respondents had the option of omitting any particular question. The Survey was conducted with complete anonymity for all participants.

The Questionnaires

The Teacher Questionnaire contained some 72 questions including : personal data, professional training, type of college attended, teaching experience, type of school and student preferred, job satisfaction, opinions on issues and problems of integration, such as bussing and compensatory programs for the disadvantaged, and problems existing in their school. The final part of the Teacher Questionnaire consisted of a voluntary test of 30 contextual vocabulary items. The purpose of this test was to get a measure of the verbal facility of the teachers.

A Principal Questionnaire of about 100 items was the main source of information about the school. The questions covered school facilities, characteristics, staff, program, racial composition, problems, curricula, extra-curricular activities, etc. There were also questions on the personal background and training of the principal and on his opinions about problems of racial integration.

The Superintendent Questionnaire consisted of 41 questions dealing with administrative information about the school system, selected statistics about the school system and its expenditures, attitudes toward current school issues, and personal information about the Superintendent.

Student data, including detailed factual and attitudinal data, were also obtained by questionnaires. Included were items of home background information so that the student data could later be controlled for socio- economic status, family background, family interest in education, etc. Different questionnaires, appropriate to each of the grade levels were used.

The 12th grade Student Questionnaire for example, was comprised of some 116 items. In addition to the questions on home background and the usual personal and school data, there were questions on the students' attitudes such as : "How good a student do you want to be in school ?"; "If you could be in the school you wanted, how many of the students would you want to be white ?" and "Good luck is more important than hard work for success. (Agree or Disagree)".

Student achievement data were obtained by a battery of tests. Tests of the various schools skills were to be the yardsticks for measuring the detrimental effects of poor school facilities and characteristics upon student learning. The test battery was constructed as an integral part of the entire research design. Two of the basic skills chosen were reading comprehension and mathematics ability. These two areas are common in all school curricula and are taught in all schools at all grade levels. Another area deemed of importance was that of the general level of knowledge gained by the students either from their school courses or from experiences in the outside world. A test of general information was therefore included in the battery in order to measure this type of learning. Two other ability tests, which are less affected by previous school learning than the other tests, were used to measure the students' skills in the verbal and reasoning areas. The two tests of this type included in the battery were the verbal and non-verbal ability tests.

One major limitation in the design of the test battery was the time required for test administration. It was desirable and considered administratively feasible to have the test battery and the questionnaires completed in no more than one school day. The lower grades had to have a shorter battery because of the limited attention span of the younger children. Therefore the testing time increased in the various test batteries until it reached its maximum length in the 12th grade. Since the lead time before the administration of the Survey in September 1965 was too short to develop specific tests in the above areas, existing standardized tests were used. However, because full length standardized tests usually require more time than would have been available, it was decided to use shortened, or half-length, forms of these tests rather than to omit tests in any area. Another requirement was that the various tests be interlocked through as many grades as possible so that scores on the same type of tests administered at different grade levels could be compared. The scaling allowed us to have a comparable measure of growth between the different grades.

The law required that the Survey be made at "all levels" and so it was decided to administer the tests to selected grades at spaced intervals. The grades chosen were grades 1, 3, 6, 9 and 12.

The tests were of the multiple-choice answer type and were provided with machine scorable answer sheets. These answer sheets were scored and processed by a machine which scanned the penciled responses optically and put the results directly onto magnetic tape. For grades 1 and 3 an accordion type answer booklet was used. The pupils marked their responses directly onto the booklet without using a separate answer sheet. This procedure eliminated errors that might have been caused by young children in transcribing their responses onto a separate answer sheet.

The Analysis

This completes the general description of the basic data which we have from the Survey. It is comprehensive data in the sense that we have collected for each individual student not only information about him, but also about his family, his teachers, and his school. Because of this collection of integrated data, related aspects of the total educational process can be investigated. The data were processed for the report on IBM 7094 computers and the collated data are now on magnetic tape. For each student in the sample, the tape record consists of his student questionnaire responses, his test scores, the average questionnaire responses and average test scores of the other students in his school, the average of his teacher's questionnaire responses, his principal's questionnaire responses, his school superintendent's questionnaire responses, and the appropriate sampling weight for the student. The data are grouped into eight geographical regions. The sampling design did not allow for any smaller breakdowns by State or by counties.

Several preliminary analyses of the data were conducted for the report in a first attempt to determine the relative effects of various factors such as student home background, school facilities, teacher characteristics, peer group characteristics, etc., upon student achievement.

For these analyses we used samples of 1,000 students each from various regional, racial and grade groups. The final working tape for each grade consisted of 20 files each containing 1,000 student records. The 20 files refer to 20 geographical and racial (or ethnic) strata. Sixteen of them are eight geographical strata (five metropolitan and three nonmetropolitan) for both Negro and white pupils. The other four strata are nationwide data for the Mexican, American Indian, Oriental, and Puerto Rican minorities which were not large enough to permit a breakdown into geographical regions. Each student record in the file included the student's test scores, the student's questionnaire responses, the aggregate record of the teacher questionaire responses for his school, and the average student (peer group) questionnaire responses for his school.

From these large student records we created a smaller record for each student consisting of 103 variables. Some of these variables were individual questionnaire responses, while others were indices created from several items. For example, the variable "Parents Educational Desires" was composed of questionnaire items 24, 25, 27, 28 and 29 from the 12th grade student questionnaire.

Correlation matrices were created for each of the 20 files, in each grade, for the 1,000 individual student records of 103 variables each. Many of these correlation matrices have been published in the Supplemental Appendix to the Report. These matrices, then, were the basic input for the subsequent regression analyses.

The model of student achievement which we are using is basically a regression model, multiple-partial regression. It is modified in that designated concomitant variables, such as selected student home background variables, were first partialled out of the correlation matrix before the regressions were done. This partialling out has the effect of statistically controlling or holding these variables constant. Independent variables of interest were then used in a series of regression equations using one of the student test scores as the dependent criterion variable. These regression equations indicate the relative importance of the factors for student achievement.

In some analyses additional variables of interest were added successively to the multiple regression equation so that the unique variance, the additional increase in the percent of variance accounted for (the increase in multiple R squared) by the added variable or group of variables, could be identified. The methodological problems confronting us here in these analyses are that the variables in the school situation are so interrelated and

interdependent that it is almost impossible to determine their separate effects. This is made even more difficult because the contribution of any one variable to the total variance is very small. The large number of variables in our regression equations could be ordered and partialled out in a variety of different ways and this ordering definitely affects the contributions of the subsequent variables to the total variance.

Another attack on the data was by Analysis of Variance. Here we separated the variation in student achievement into two components : between-schools variation, and within-shcool variation. Differences in between-schools, or school-to-school, variation in achievement might be attributed to differences in a host of school, student body, and community factors. The differences in within-school variation in achievement might be attributed to differences in student abilities, family background, in-school experiences, and differential community influences.

The Results

The study found that most of the variability in school achievement resided in the within-school variance; and only a lesser percentage was accounted for by the between-school, or school-to-school variance. It was found that the percent of between-schools variance for the different grades ranged from 5 to 35 % of total variance. Thus, despite the wide range of diversity of school facilities, curriculum, and teachers, and despite the wide diversity among student bodies in different schools over 65 % of the variation for each group is the variation within the same student body. This percentage is much higher for the white majority group than it is for the various minority racial groups. We note that the between-schools component in grade I (about 18 %) is almost wholly a measure of the skills with which children in different schools begin school, since the tests were given at the beginning of school when the school factors could have had little effect. Yet this between-schools component for the white majority group is as large at grade 1 as at grade 3; this finding indicates that school-to-school differences are less a function of the school itself than they are of the student body.

The schools seem then, to have great uniformity insofar as their effect on the learning of pupils is concerned. There are differences among the different ethnic groups in the between-schools variation in achievement. School factors seem to be related to larger differences in achievement for the minority group members than for the majority. In general, the minority group children may be thought of as being more sensitive to variations in school quality and in student body; those children from groups with the lowest initial level of achievement were found to be the most sensitive to school effects.

Now to go to the regression analyses. The influence of student background factors on achievement : The background factors measured in this survey cover factors such as the educational level of the home and the parents interest in education as seen by the child. They do not, of course, include differences in native endowment which is the unmeasured part of family background. Because student home background differences are prior in time to school influences and have therefore had the opportunity to influence the child before he reaches school, they will, to the extent we have succeeded in measuring them, be partly controlled when we go on to measure school factors. The data reveal that, for the white majority students at grade 12, six selected indices of objective student home background variables account for 15 % of the variance in verbal achievement; after adding two indices of parents' educational desires and interest, as perceived by the student, 23 % of the variance can be accounted for. Because of this strong relationship between the student's home background and his school achievement, these home background variables will be controlled in most of the regression equations investigating the effect of school factors.

Student Body Characteristics : The principal result, based on a variety of analyses, shows that the attributes of other students account for more variation in the achievement of minority group children than do any attributes of school facilities and slightly more than do attributes of school staff. In general, as the educational aspirations and backgrounds of fellow students increase, the achievement of minority group children increases. This finding is based on the unique variance contribution of the variable of student body quality. For example, the unique variance contribution is 8.55 % for Puerto Rican's in the 12th grade vs. 2.01 % for white majority students. Other data reveal that the addition of 6 student body characteristics to 11 school characteristics, controlling on the 6 home background variables, increases the percent of variance accounted for in verbal achievement almost 16 % for 12th grade Puerto Rican children; yet for the majority white children the increase is only 1 %. The student body environment factor seems to have its greatest effect on those from educationally deficient backgrounds.

Schools Facilities and Curriculum : Another Analysis shows similarly that the variance accounted for by per-pupil expenditure, controlling on 6 student home background variables, in grade 12 is 2.62 % for Negroes and 0.80 % for whites. There are in the report other interesting analyses which investigate the unique percentage contributions to variance in verbal achievement by individual school facilities and curricular measures such as libraries, laboratories, etc., while controlling on home background variables, per-pupil expenditure, and 10 other school measures. All the contributions to variance for these school measures are quite small, nevertheless, items such as science laboratories show consistent positive contributions to achievement over all races and regions.

Teacher Characteristics : In a similar manner the teacher variables were analysed. The regression analyses revealed for example that 7 selected teacher variables, controlling on 4 student home background variables at grade 12, accounted for 18 % of the variance in achievement for Puerto Ricans, 10 % for Negroes, and only 2 % for the white majority group. There is a cummulative teacher effect because the percentage of variance accounted for by teachers increases within each group as the grade level increases. Again the various racial groups show different degrees of sensitivity. Teacher differences matter much more for children from minority groups which have educationally deficient backgrounds than they do for white majority children.

Attitudes of Students : Three indices of student attitude and motivation were examined in relation to achievement at grades 6, 9 and 12; one was the student's interest in school and his reported pursuit of reading outside school; another was his self-concept, specifically with regard to learning and success in school; and a third was what we have called his sense of control of the environment. Of all the variables in the survey, including all measures of family background and all school variables, these attributes showed the strongest relation to achievement at all 3 grade levels. The zero-order correlations of these attitudes with achievement were as high as .4 and .5. As a set these three attitudinal indices account for more of the variation in achievement than any other set of variables which we examined; and, when added to any other set of variables, they increased the accounted for variation more than did the addition of any other set of variables. For 12th grade whites, 28 % of the total variance can be attributed to these 3 attitudes while only 23 % can be attributed to the 8 student home background variables. It is suggested, therefore, that one of the keys to school success for the disadvantaged minority group student with an unresponsive environment is a change in his own conception of world in which he lives.

The verbal achievement scores of students are markedly affected by the attitude held by the student. For example, 9th grade Northern Negroes who agree that good luck is more

important than success score 40.0 on the verbal test and the Northern whites with similar attitudes score 45.5. Yet of those students who believe the opposite, that hard work is more important, the Negroes score 47.1 and the whites 54.8. Although Negro scores are generally much lower than those of the whites (about one standard deviation) when we look at Negroes with good attitudes, we find them out-performing whites with poor attitudes 47.1 to 45.4. The same is true of other racial groups. For a Negro, this factor of control over his destiny seems to be related to the proportion of whites in the schools. Those Negroes in schools with a higher porportion of whites have a greater sense of control. Thus such attitudes, which are largely a consequence of a person's experience in the larger society, are not independent of his experience in school. The factor of control over destiny is also well correlated with hours of homework, parental desires for education, and test scores.

Further Work Envisaged

These, then, are some of the results of our first analyses of the data from the Educational Opportunities Survey. From these preliminary analyses we have been led to more sophisticated question which we shall pursue and to more refined analyses which we shall perform. Since publication of the report on the survey, we have been preparing a new analyses of the data with the focus being upon developing a student, achievement model rather than investigating specific problems of educational opportunity for minority groups.

Our comprehensive data consist of over four hundred variables, and the sheer volume of them necessitates a reduction of variables by both a rejection of the redundant and extraneous variables and by a consolidation of groups of similar variables into indices. The first step we have made is to unify the scores from the five criterion tests into one consolidated score which will serve as an index of student achievement. Since the five tests were all highly intercorrelated, we performed a factor analysis and found one strong first principal component running through the test battery. The factor loadings of the various test scores on the first principal component will be used as the weights for the index of student achievement. The weights are as follows : Non-verbal Ability .76, Verbal Ability .92, Reading Comprehension .87, Mathematics Achievement .85, and General Information .91.

The next step is the creation of indices to represent major factors such as student socio-economic background, teacher training, school programs, school facilities, etc. This work is now in progress. The basic procedure is to correlate groups of similar variables and then to apply factor analysis to reduce the number of variables needed and to weight the remaining variables into a single index. Upon the completion of this program approximately 30 indices will constitue a new set of basic data for subsequent analyses.

Regression analyses will be performed using these indices in a systematic fashion in much the same way as was done in the first analysis. The primary improvements will be in the elimination of redundancy in the variables and in having rationally structured rather than arbitrarily structured indices. In addition, we shall do separate regression analyses for the student indices against the between-school sum of squares. It is expected that this analysis will give us a much better understanding of the interrelationships between schools and community factors and student achievement.

RESUME

ANALYSE FACTORIELLE DE L'EDUCATION

ET L'ETUDE SUR L'EGALITE DES CHANCES

Analyse des opérations dans l'éducation

La Division des analyses des opérations (U.S. Office of Education) fait essentiellement porter ses efforts depuis un an et demi sur l'analyse factorielle de l'éducation. Cette analyse vise à établir des relations quantitatives entre les résultats scolaires et d'importants facteurs contribuant à ces résultats : aptitudes de l'élève, attitude de l'élève et de la famille devant l'enseignement, statut socio-économique de la famille, aide apportée par les parents à l'enfant pour son travail scolaire, attitudes de la collectivité devant l'enseignement et appui qu'elle fournit, compétence du maître, qualité de l'équipement scolaire, programmes d'études, organisation et administration de l'établissement d'enseignement.

Genèse de l'étude

Avant de nous attaquer à cette analyse, nous nous sommes aperçus que nous ne possédions pas les outils nécessaires pour la mener à bien, et que nous ne pouvions obtenir que des résultats rudimentaires pendant quelques années. Nous avons constaté, en particulier, qu'il n'y a pas de bons instruments de mesure des résultats scolaires. Nous avons donc essayé d'abord de combler cette lacune. Mais nous n'avons pas tenté de mettre au point des instruments permettant de mesurer d'autres facteurs considérés par les éducateurs comme aussi importants que les résultats scolaires : aptitude à la vie sociale, confiance en soi, ambition, jugement, pouvoir créateur, sens de la responsabilité et sens civique.

L'échantillon

L'Etude portait sur un échantillon à 5 % des établissements scolaires, échantillon à deux degrés, stratifié, en grappe, auto-pondéré, où les unités primaires de sondage ont été les comtés pour le premier degré, et les "high schools" pour le deuxième degré.

Lorsqu'une "high school" a été prise dans l'échantillon, les écoles primaires dont proviennent ses élèves ont automatiquement été incluses, elles aussi. Puisque l'Etude visait avant tout les enfants des groupes minoritaires - 10 % de la population scolaire totale - les écoles ont été réparties en strates, selon le pourcentage d'élèves de couleur. Les strates comportant le plus fort pourcentage ont été plus largement représentées dans l'échantillon, si bien que 40 % des élèves sur lesquels porte l'Etude appartenaient à des groupes minoritaires.

On a utilisé plusieurs méthodes pour rassembler les données : les statistiques scolaires ont été obtenues à l'aide de questionnaires envoyés aux maîtres, aux directeurs et surintendants des établissements retenus dans l'échantillon. Les écoles étaient libres de participer ou non à l'Etude et tous ceux qui ont répondu au questionnaire pouvaient ne pas remplir telle ou telle rubrique. L'anonymat de tous les participants a été respecté totalement.

L'analyse des données

Les données ont été traités sur ordinateurs IBM 7094 et sont maintenant conservées sur bande magnétique.

Pour l'évaluation des résultats scolaires nous avons utilisé un modèle de régression: régressions partielles multiples. Il a été modifié en ce sens que les variables concomitantes (variables du milieu familial de l'élève qui ont été choisies) ont été éliminées de la matrice des corrélations avant d'effectuer les régressions, ce qui a permis de faire le contrôle statistique ou de maintenir ces variables constantes. Les variables indépendantes nous intéressant ont été utilisées dans une série d'équations de régression, où les résultats de l'un des tests subis par l'élève a été pris comme variable critère dépendante. Ces équations de régression indiquent l'importance relative des différents facteurs entrant en jeu dans les résultats scolaires.

Les résultats

Il ressort de l'Etude que la variabilité des résultats scolaires est due en très grande partie à la variance à l'intérieur d'une même école, et en faible partie seulement à la variance d'une école à l'autre. On a constaté que la variance d'une école à l'autre, pour les différentes classes, représente de 5 à 35 % de la variance totale. Ainsi, malgré la très grande diversité des installations, des programmes et du corps enseignant, malgré aussi la très grande diversité de la population des établissements d'enseignement, la variation au sein d'une même population scolaire constitue 65 % de la variation totale de chaque groupe. Le pourcentage est beaucoup plus élevé pour le groupe majoritaire des Blancs que pour les divers groupes minoritaires de couleur.

D'une façon générale, on peut dire que les enfants d'un groupe minoritaire sont plus sensibles aux variations de la qualité de l'école et de la population scolaire; on a constaté que les enfants des groupes ayant les résultats scolaires initiaux les plus bas ont été les plus sensibles aux effets de l'école.

Attitude des élèves

Les résultats de l'élève à l'oral sont très nettement influencés par son attitude devant l'enseignement. Par exemple, dans la 9ème classe, les Noirs du Nord qui pensent que la chance est plus importante que le travail scolaire obtiennent 40 aux tests oraux et les Blancs ayant la même attitude 45,5. Mais parmi les élèves qui ont l'attitude exactement opposée, les Noirs totalisent 47,1 et les Blancs 54,8. Bien que le Noir obtienne généralement des notes inférieures à celles du Blanc, le Noir ayant une bonne attitude l'emporte sur le Blanc ayant une mauvaise attitude, par 47,1 contre 45,4. Il en va de même pour les autres groupes raciaux. Chez les Noirs, ce facteur de contrôle de la destinée semble être lié à la porportion des Blancs dans l'école : il est plus élevé dans les établissements où les Blancs sont plus nombreux. Ainsi ces attitudes, qui résultent en grande partie de l'expérience de l'individu dans la société, ne sont pas indépendantes de son expérience scolaire. Le facteur de contrôle de la destinée est également en corrélation étroite avec les heures de travail à la maison, le désir des parents de donner une instruction à leurs enfants et les résultats des tests.

Travaux futurs envisagés

La prochaine étape consiste à établir des indices représentant les principaux facteurs : origine socio-économique de l'élève, formation des maîtres, programmes d'études, installations et équipement scolaires, etc... Ces travaux sont déjà en cours.

PART THREE

TROISIEME PARTIE

CHAIRMAN'S COMMENT :

TOWARD STRATEGIC PLANNING OF EDUCATION

by Russell L. Ackoff

I. Introduction

Too often the summarizer of a conference is like a footnote : a little dog barking at the text. To avoid this I shall play the role of neither a critic nor a synthesizer. Those attending this meeting are capable of digesting their own food for thought. Therefore, in the "summary" I shall deal with matters that have not been dealt with here, rather than with ones that have.

We have clearly been discussing the subject of education, but not educational planning. Planning has seldom been mentioned here. Decision making that affects education is not necessarily educational planning. Although educational planning involves decision making, is planning. Consequently, I shall address myself to five questions :

(i) What is planning ?

(ii) How do tactical and strategic planning differ ?

(iii) What should a strategic plan contain ?

(iv) What are the principal strategies of strategic planning ?

(v) What is education and what measure of its output can be used for planning purposes ?

II. The nature of planning

Planning has three essential characteristics. First, planning involves a system of decisions. That is, it involves a set of two or more decisions each of which is dependent on at least one other decision. One decision depends on another if the effect of the first on the system's performance is itself affected by the second decision. Hence, planning consists of a set of interdependent decisions.

Furthermore, the set of decisions required in planning is so large and so complex that it cannot be dealt with all at once. It must therefore be broken into subgroups of decisions which are small enough to handle, but these subgroups cannot be formed so as to be independent of each other. Hence there is a need to review previous subsets of decisions in light of subsequent ones. This leads to the second essential characteristic of planning.

Planning is anticipatory decision-making. Time is required between making decisions and carrying them out. This time lapse must be long enough to permit reconsideration of decisions previously made.

The third essential characteristic of planning is that it takes place in a dynamic environment. This means that the environment of the system being planned for is continously changing in ways that will affect the very system being planned for, unless appropriate

action is taken. For this reason the consequences of doing nothing to the system being planned for are more likely than not to be undesirable. The reason that many organizations do not engage in long-range planning is that their executives do not really believe that the consequences of doing nothing are undesirable. Lacking long-range plans, administrators are obliged to cope with so many short-run crises that they have no time left for the long-range planning which could prevent such crises in the future. Thus non-planning provides its own rationale.

In short : Planning is anticipatory decision-making. The decisions involved in it form a system of interdependent parts. Because this system is too large and complex to handle all at once, planning must be done in parts, and each part must be evaluated and re-evaluated in light of at least one other part. The system being planned for is part of a dynamic environment which is such that the system's performance is likely to deteriorate unless the executives intervene in the process going on both inside and outside the organization.

III. Tactical versus strategic planning

The distinction between tactical and strategic problems is not a simple one because it is based on at least three characteristics of problems, each of which involves a matter of degree.

First, one problem is more tactical than another if the effect of its solution has a shorter duration or, what is essentially the same thing, if its solution can be modified or reversed easily. The longer the duration of the effect of a solution to a problem, the more strategic it is. Hence a problem involving what to teach to-morrow is more tactical than one which involves determining where to build an additional school. We might refer to this characteristic of a problem as its range.

Secondly, one problem is more strategic than another the larger the portion of the organization that is directly affected by its solution. Therefore, a problem involving the selection of an accounting convention is likely to be more tactical, say, than is departmental budgeting. This characteristic of a problem can be referred to as its scope.

Finally, one problem is more strategic than another the more it involves the determination of ends, goals, or objectives. All problems involve the selection of means to accomplish desired outcomes, but in many the problem-solvers take the desired outcomes as given or provided. To the extent that they do, the problems are tactical. Hence educational planning which involves setting educational objectives and goals is more strategic than planning which accepts one or more goals as being desirable. This characteristic of a problem can be referred to as its ends-orientation.

There are no clear cut-off points on the scales representing the three characteristics which distinguish between tactical and strategic problems. Hence, at best we can only say of one problem that it is more or less tactical or strategic than another with respect to each of these characteristics.

IV. The contents of a strategic plan

Strategic plans should, but seldom do, contain five parts :

1. Specification of organizational objectives and goals.
2. Specification of operating policies.

3. Determination of resource requirements, how they are to be generated, and how they should be allocated to components of the organization.

4. Design of the organizational structure required to carry out the plan.

5. Design of controls over implementation of the plan.

These parts cannot, of course, be prepared independently; since planning deals with a system of decisions, each part of a plan is necessarily dependent on at least one other. The order in which I discuss them, therefore, is not necessarily the order in which they should be started or completed. Rather, all five parts should be developed simultaneously.

IV-1. Objectives and Goals

Effective planning obviously requires that objectives and goals (which are objectives to which a desired time for attainment has been attached) be operationally defined so that the degree of their attainment can be measured. For example, to assert that a government agency should seek "to promote human welfare" means nothing unless ways of measuring the degree to which this objective is obtained are provided. A statement of goals should not read like a sermon, as is commonly the case. It should be a set of instructions that provide means for quantitative self-evaluation.

In most general terms, the objective of any organization is to maximize the difference : "Gains minus Losses", or "Benefits minus Costs". The task of defining objectives, therefore, can be reduced to specifying the relevant costs and benefits and providing measures of each along a common scale. This is not an easy task but every decision invclves such an operation. In most cases this operation is performed unconsciously and implicitly. Hiding the procedure from oneself and others does not avoid it. This aspect of planning should be made explicit so that it is open for inspection and hence is made more susceptible to progressive modification than if it were suppressed in the collective unconscious.

Once the planner has developed suitable measures of the degree to which each objective has been obtained, if these measures are not on a common scale, he must find ways of transforming all scales into one "standard" scale. The monetary scale is most commonly used for this purpose because most "values" have a maximum price that an individual or group is willing to pay for them. This does not imply that money is an ultimate value, only that most values can be transformed into a monetary equivalent because of the nature of our economy and our behavior in it.

When all measures have been transformed into a standard scale it is necessary to specify how the measures are to be combined (i.e., aggregated) into a single measure of system performance.

In the last part of this presentation I shall try to indicate how the program I have just described might be carried out in the field of education.

IV-2. Operating Policies

In a strategic plan operating policies need to be established for each sub-unit of the organization; these are better formulated in tactical plans prepared by the sub-units themselves. The strategic plan should be concerned only with those policies that involve interactions between the largest components of the organization. The nature of the policies that should be formulated will vary with the nature and structure of the organization.

To find optimal policies for a system, a model of that system is required in which each major sub-unit and its operations are adequately represented. Models of the total system adequate for planning purposes have not yet been constructed even in military and industrial contexts where much research effort has gone. However, models of various components of military and industrial organizations have been constructed which can be bound together to approximate a model of the whole. For example, in the industrial context many models of financial, production, and distribution functions have been constructed. On the other hand, adequate models of research and development, marketing, and personnel functions are less common. Where a process is not understood well enough to permit construction of an adequate objective model, it is usually possible to construct a subjective model of the process, one that reflects the policy-makers' conception of how it works. Linking together a set of objective and subjective models, however imperfect the parts, provides a better basis for policy planning than does dealing with a subjective concept of the system that is never made explicit.

Operations Research has been constructing models of parts of military and industrial systems for some time, but only recently has it begun to do the same for educational systems. It is apparent that much more effort along these lines is required for an adequate basis for planning. Nevertheless, the explicit formulation of subjective models of educational processes now implicitly used by planners and policy-makers would provide a first step in the right direction. It would at least allow consistent planning decisions to be made and it would reveal where our ignorance is most costly. The acknowledgement of ignorance is always the first step in the development of knowledge.

In addition to a model of the system being planned for, a model (or models) of the system's environment is also required. The environment can be subdivided into two parts: the consumer (those affected by the service) and the socio-economic context in which the system operates.

An adequate model of the consumer requires understanding why he consumes, as well as where, with whom, when, and so on. Few organizations (even industrial firms) have deep understanding of the nature of the consumption of their output. Operations research can help provide it. For example, there is the case of a petroleum company for which a study was conducted to determine why drivers of automobiles and trucks selected the service stations that they do. Previous regression analyses had revealed thirty-five variables that were significantly related to such selection, but it failed to inform the company how to select sites for stations and what to do with them design-wise once they were selected. The operations researchers involved in this (second) study elected to determine how traffic affected the volume of sales at service stations. They did so in terms of the percentage of cars in each possible route through an intersection that stopped for service. They then sought to explain the differences in the contributions of the different routes to sales. Eventually this led to a theory which explained and predicted the behavior of traffic. This theory was based on the fact that consumers attempt to minimize the perceived time required to obtain service. Brand preference was shown to have a negligible influence on purchases. The consumer cannot perceive differences between brands of gasoline even where they exist. To assume that he selects on the basis of product characteristics, then, is to assume that he buys on the basis of preferences created by advertising. This gives him less credit for rationality than he usually demonstrates. In general, I have found that in research directed toward understanding why the consumer does what he does, it is better to assume he is rational than to assume he is not, even if this involves assuming that the supplier is irrational.

If the producer of petroleum products understands the consumer's preoccupation with lost time, he has a basis for effectively planning his distribution and sales, as well as his products.

Explanatory models of the behavior of consumers of public services are rare. Most models of consumption of public services that have been constructed (e.g., transportation) tend to be descriptive, based on regression analysis rather than on explanatory theory. Nevertheless explanatory models have been attempted. At the University of Pennsylvania we developed a model to explain individual choice of mode of urban transport. The model was based on the assumption that each individual selects that mode which maximizes his expected utility in the choice situation. Utility was measured as a function of cost, time, comfort, and convenience. (See Management Science Center, 1965, and Benson and Martin, 1966). I see no reason why similar models cannot be developed for consumption of educational services.

Effective planning also requires a reasonably accurate picture of the future, on that includes information on all aspects of the economy and society that are relevant to the system being planned for. In forecasting, so much emphasis is placed on the uncertainties of the future that relatively little attention is paid to those aspects of the future that are virtually inevitable. Disclosure of these "inevitabilities" frequently provides a sounder basis for long-range plans than do forecasts of the uncertain aspects of the future.

For example, one analysis has shown that the amount of additional streets and thruways required in most urban areas of the United States to maintain the current level of congestion in the future, requires financial resources that exceed what will be available to most cities. It was also shown that, since most urban vehicles carry less than two passengers, a small two-passenger vehicle would increase the capacity of city streets beyond anything that can be obtained by using what resources will be available for increasing the number and size of these streets. It seems very likely, therefore, if not inevitable, that urban vehicles will ultimately be considerably reduced in size. Furthermore, analysis of our air pollution problem in urban areas indicates that the internal combustion engine will very likely be legislated against in the near future.

Perception of these "inevitabilities" has led several companies to development projects for urban automobiles of the type implied in the analyses referred to. To the extent that such vehicles become available, the conversion to them will be accelerated, and hence such prophesies have a way of fulfilling themselves.

Disclosure of the "inevitable" is not often a simple task; its results are usually obvious only retrospectively. Operations researchers and systems analysts can provide a major service to planners by performing the type of analysis required to disclose these relatively certain (relevant) aspects of the future.

IV-3. Resources : Requirements and Provisions

There are four types of resources : men, machines and plant (i.e., equipment and facilities), materials, and money. Therefore, financial planning - the only type of resource planning that is common - does not constitute comprehensive resource planning.

The questions to be answered in resource planning are : Given the objectives, goals, and operating policies, what resources of each type will be required when, and by whom ? How can these resources best be generated, developed, or acquired ? If investigation shows that the required resources cannot be made available, then the goals or the policies will have to be revised until these parts of the plan balance. Thus there should be continous interaction between setting goals, specifying operating policies, and planning resources.

In resource planning it is obviously necessary to know how the productivity of an organizational unit is affected by the amount of resources made available to it. For example,

we must determine how the quantity and quality of education that can be provided relates to the amount and mix of resources that is made available. A continuing research effort is required to provide this kind of understanding.

Operations research has often been used to determine the optimal size or capacity of a facility, where to locate it, how to maintain it, and when to replace it. There is no reason why this research capability cannot be applied to educational facilities.

Where resources such as teachers or teaching materials are supplied by others, it is generally assumed that they will continue to be available in the quantities required. If this future supply is uncertain or the price is expected to be too high, it is necessary to consider either acquiring or developing the capability of filling ones own resource requirements, or to obtain long-term contracts with external suppliers. Operations research can assist in evaluating such "make or buy" decisions.

We know less about personnel or manpower planning than any other type of resource planning. Modelling of acquisition, development, promotion, reassignment, and attribution of personnel has been discussed but, to my knowledge, has not yet been used in strategic planning in either the private or public sector. Research is urgently needed in this area.

IV-4. Organizational Structure

By the structure of an organization I mean the way in which the members of an organization are divided into subgroups and assigned tasks; that is, the way labor (of all types, including managerial as well as manual) is functionally subdivided.

The importance of structure is illustrated by the following very simple example. One of the major cities in the United States has established a Port Authority whose principal source of income is tolls collected on bridges and tunnels leading into the city. Quite naturally, then, this authority seeks to maximize use of these facilities. While it does so, the traffic department of the city is trying to discourage use of automobiles because of the almost impossible congestion on city streets. The objectives of these two city agencies are not compatible. Until they are made so the city will be playing tug-of-war with the public serving as the rope which is being pulled in opposite directions.

An ability to optimize organizational structure has only recently begun to emerge. (See Sengupta and Ackoff, 1965, and Ackoff, Winter 1966). The development of this ability in science is based on recognition of a correspondence between organizational design problems and a type of mathematical problem that has been receiving much attention recently. Even with the aid of large electronic computers it is frequently impossible to solve certain types of mathematical problems because they are too large to handle all at once. Consequently, mathematicians have been studying ways of breaking such problems into parts, each of which can be solved, and of assembling the solutions to the parts in such a way as to give at least an approximate solution to the original problem. The division of a problem into solvable parts is called decomposition.

As noted earlier, every organization's objective is to maximize the difference between its gains and its losses, if we use "gain" and "loss" in a very broad sense. The gains and losses of an organization depend on two kinds of things: first, the decisions that it makes which affect the variables that are subject to its control (e.g., the number and size of schools and the size of classes); and secondly, what happens to certain uncontrolled but relevant variables (e.g., population growth and the condition of the economy). Consequently, if we can express an organization's gains and losses as functions of these variables - and this is what operations research has begun to develop a capability of doing - we can express an organization's overall objective in mathematical form. From then on the problem is to

find the values of the controlled variables which, under certain conditions specified by the values of the uncontrolled variables, maximize the gains minus the losses.

The ability to obtain optimal decompositions - that is best organizational designs is still restricted to fairly simple organizations, but it is rapidly being extended. Furthermore, when real organizations are involved it may not be feasible to restructure them if such a process involves considerable re-shuffling of responsibilities or if groupings of tasks do not correspond to traditional configurations (e.g., if control of some transportation and educational variables are put together). In such cases some alternative to restructuring an organization is required to solve many, if not most, problems involving organizational structure. Two such approaches have been developed, each of which works within the existing structure of an organization. These approaches involve the imposition of constraints on decision-makers in subunits, constraints which produce results approximating those that would be obtained in a "perfect" organization. (These approaches are discussed in the articles cited above).

The alternative approaches to reduction of structural in efficiency which have been developed have only begun to be explored, but they hold great promise for the future and hence can be expected to become an increasingly useful part of the planning process.

Specification of the responsibility and measure of performance of each organizational unit is not enough. A plan should also provide a classification of the types of decisions required to carry out the organization's tasks. Furthermore, it should indicate who, or what position, is to have authority for each type of decision. If more than one person is involved, the plan should specify how decisions are to be reached by the group; that is, whether any one participant's approval is necessary or sufficient (or both) for accepting or rejecting any proposal. In addition, the plan should specify who is responsible for carrying out each type of decision. Finally, it should contain the design of an information system that will enable these decisions to be made and implemented effectively.

In assigning authority and responsibility to individuals and groups, the optimal size of operating units in each function, the optimal number of units to be placed under one administrator, and the optimal way to group units (e.g., function or geography)) all have to be determined. The information required to do this is best provided by the analysis required for the design of the information system needed to support the control function of the system being planned for.

IV-5. Management Information Systems

Preoccupation with such systems has become wide-spread, at least in the United States. It has approached the proportions of a technological fad. Much of the effort has been misdirected by over-enthusiasm for the computer and new input and output devices. Some feel that if enough raw data are stored in a bank and administrators can draw from it the answer to any question they want, "on line" and in "real time" the administrator's millennium will have been reached. The claims to date far exceed the accomplishments.

It seems to me that much of the current effort in producing information systems is misdirected because it is based on three false assumptions. First, it assumes administrators suffer more from lack of relevant information than they do from an excess of irrelevant information. Even a cursory examination of most administrator's information load will show that this assumption is false; most administrators suffer from an information overload. As a consequence they cannot cope with all that is made available to them and hence they develop procedures which are less information-dependent. Adding more information to the already large pile will not help, but only discourage further efforts to cope with it.

In order for administrators to use information more effectively they must receive less than they do currently, and what they receive must be relevant and timely. Hence, the critical need is not so much to generate, store, and retrieve information not now available, as it is to filter out (i.e., evaluate) useless information and condense what is useful. Therefore, filtration and condensation of information should be a major concern of information system designers. As yet it has not been.

Secondly, current design practices are based on the assumption that if an administrator has what information he wants when he wants it, his decision-making will necessarily be improved. Although this may be so in some cases, it clearly will not be in many, if not most, cases. Operations research has revealed a number of relatively simple management problems in which, even if all the necessary information is available, it is still very difficult to find a good solution. For many decisions, then, information is not enough; instruction on how to make decisions is also required.

Finally, most information-system designers assume that if communication between administrators were improved, organizational performance, would also improve. Organization theory has shown, however, that good communication can produce bad performance if the structure of the organization is deficient (See Askoff, 1966).

These false assumptions arise not only from excessive enthusiasm for a new technology but also out of a failure to understand that an information system is only a subsystem ; it must be imbedded in a control system. The one should not be developed without the other. The kinds of information systems required by administrators can only be designed by administrators, systems analysts, and operations researchers working together.

The design of an information system should be based on an understanding of the decision system that it must serve. Analysis should begin by identifying each type of decision that is required and their interdependence. Such an analysis should produce a flow chart of decisions in which the interdependencies are clearly shown.

Next, each decision should be analysed to determine what information it requires if it is to be made effectively. Such analysis requires the skills of operations researchers. Even decisions which cannot be optimized can usually be modelled well enough to indicate what their informational requirements are. One cannot find the answers by asking those who make the decisions. To do so is to run the risk of mechanizing many of the errors inherent in the current system, and frequently to add to them.

Only after these steps have been performed should the systems designer consider where the necessary information should be generated, and how it should be transmitted, stored, treated, and retrieved. In current practice this step usually comes first, the first two steps being replaced by convenient assumptions where necessary.

Finally, it must be recognized that any information system, no matter how well designed, will have many deficiencies. Therefore, it is necessary to design into it a capability for evaluating its own performance and for correcting itself where necessary. This control of the information system may, and usually does, require the participation of administrators and operations researchers. Administrators should never be permitted to use an information system whose performance they are not capable of evaluating. If they do so, they have abdicated one of their major responsibilities to the information technician who is not equipped to handle such responsibility effectively.

IV-6. Controls

The most important assumption that can be made in any planning process is that much of the plan will turn out to be wrong. Therefore, provisions should be made for detecting

errors and inefficiencies and for correcting the plan accordingly. A plan should provide for its own continuous improvement.

Recently, I took part in a discussion on television which dealt with the impact of technology on urban planning. In the course of the discussion the moderator displayed a sketch of a proposed city of tomorrow in which only pedestrian traffic was on the surface; public transport and automobiles were restricted to lower levels. The moderator was quite enthusiastic about this concept, but the other discussant and I were not, and for the same reason. We pointed out that every transportation plan is full of errors many of which be corrected after it is in operation. Most expressways, turnpikes, and so on require constant modification once they are in operation. In the concept of a future city which the moderator showed us, the transportation network was structurally integrated with buildings so that if any change in a road were required buildings would have to be torn down or drastically modified. The cost of so doing, we pointed out, would reduce our ability to make changes and would force us to live longer with our transportation planning errors than we do now.

A plan should provide a procedure for determining where it is failing and why, and provisions for correcting itself on the basis of this analysis. To accomplish this, a control system is required. Such a system in turn requires an organizational unit charged with control-responsibility and so placed in the organization's structure that it has access to the decision-makers and the information required to carry out its function. Such a unit must be directly responsible to those managers who accept or reject the plan itself, and therefore have the authority to modify it in operation.

A control system not only makes it possible to correct for errors but also to respond to unforseeable changes in conditions such as technological breakthroughs, international conflicts, shifts in the economy, or modification of the laws under which the organization or agency must operate. It is always possible to predict with absolute certainty that the unpredictable will occur - and that this will require responsiveness of the organization if it is to pursue its objectives effectively under changing conditions. Lack of responsiveness to change is the best indicator of the need for planning and control in an organization.

V. The Strategies of Strategic Planning

Most plans, of course, do not contain all five of the parts that I have specified (i.e., objectives and goals, policies, resources, organizational structure, and controls). There is a wide divergence between the principles and practice of planning. By examining the patterns of planning that one can observe in practice and comparing them with the concept of planning developed here, it is possible to suggest some ways in which current planning practices can be improved even with the underdeveloped technological capabilities available to us. I shall discuss three of these patterns : 1) satisficing, 2) optimizing, and - if you will forgive an awkward attempt to fill in a gap in our language- 3) adaptivizing.

V-1. Satisficing

Most current planning is of this type. In it the planning process begins with setting goals which are believed (though seldom demonstrated) to be both feasible and desirable. Attribution of these properties to the goals is usually based on consensus among planners. Once these goals are set - and they are usually set independently of other aspects of planning - operating policies are sought which are believed to be likely to attain the goals and are acceptable to the relevant policy-makers and to the people who must carry them out.

Feasibility in this context usually implies 1) no significant departure from current policies and practices, 2) at most, moderate increases in resource requirements, 3) no significant changes in the organization's structure (since this usually meets with opposition), and 4) little or no provision for possible errors or changes from expectations; hence little concern with controls.

Such planning concentrates almost exclusively on obtaining a feasible set of operating policies. It seldom formulates, let alone considers, alternative sets of such policies.

Satisficing is usually defended with the argument that it is better to produce a feasible plan that is not optimal than an optimal plan that is not feasible. This argument is only superficially compelling. Reflection reveals that it overlooks the possibility of obtaining the best feasible plan. Optimality can and should be defined so as to take feasibility into account (as Anderson, 1965, has done), and the effort to do so forces us to examine the criteria of feasibility that are seldom made explicit in the satisficing process. Furthermore, the approximate attainment of an optimal plan may be more desirable than exact attainment of an inferior one.

Not surprisingly, this type of planning seldom produces a significant break with the past. It usually produces a comfortable continuation of most current policies, practices, and aspects of the organization's structure, correcting only obvious deficiencies. Satisficing often appears to be more concerned with justifying or correcting the past than in affecting the future. Therefore it appeals to organizations which place great emphasis on survival and little on growth and development. It also appeals to planners who are not willing to stick their necks out.

V-2. Optimizing

In this second type of planning, the setting of goals and the selection of operating policies interact with one another; an effort is made to do more than well enough : to do as well as possible. Resource requirements and means of generating and allocating resources, are taken into account.

The optimizing approach to planning is largely a product of operations research. It calls for development of mathematical models of the system being planned for, models that can be analysed or simulated to determine the effect of different policies and resource allocations on organizational performance.

As indicated above, however, we have not yet learned how to construct models of a total organization that are both convenient to manipulate and sufficiently detailed to yield optimal overall plans. Hence, models, representing parts of the system are normally constructed and made to interact so as to obtain approximately optimal solutions to overall planning problems.

Because the construction, validation, and use of these models usually requires considerable research effort by experienced operations researchers, optimization planning is more time-consuming and costly than is the satisficing variety. This, along with the fright produced by the use of mathematical and scientific techniques, is enough to keep many administrators away from such an approach to planning.

Efforts, even unsuccessful efforts, to develop truly optimal plans almost always produce a valuable by-product out of model-building and model-manipulation : the researchers gain a deeper understanding of the system being planned for. Unfortunately, they do not always succeed in communicating this understanding to the policy-makers involved. This failure is often as much the fault of the policy-makers as it is of the researchers; no amount of communication skills can bridge the gap of mutual distrust.

Now let's look at the negative side of optimization. First, organizational structure is seldom treated explicitly in such planning because the capability of doing so, as I have already mentioned, is only beginning to emerge. Therefore, attempts to optimize structure still require extensive use of qualitative judgments. Too many optimization-oriented researchers prefer to avoid such judgments and hence omit this essential part of planning.

Secondly, consider how optimization techniques are used to handle the problem of control. These techniques can take into account only those uncertainties concerning the future which can be identified beforehand. Through optimization, furthermore, we can develop a control unit or monitor to be added to the system to deal with these predictable uncertainties - but we cannot provide a control unit that is built into the system, leading to increased self-control of the units already in the system. This distinction and its significance is not easy to define or grasp. Let me try to clarify it by considering a third approach to planning which attempts to correct this deficiency of the optimization approach to planning. This third approach to planning is not prevalent in current practice. It is an aspiration that is yet to be fully realized.

V-3. Adaptivizing

The need for control arises not only out of our inability to forecast the future without error, or even our inability to conceive of all possible future states; it also arises out of variations in the present. Demand for a service, for example, changes daily; so does the flow of money in and out of a community, delivery times of supplies, and so on. To plan only for the "average" (or any single value) of a variable activity is to invite crisis and poor use of facilities. Imagine the performance of a highway that is designed to accomodate its average load. Therefore, it is desirable to plan organizations and operations which not only can adapt to major changes in the future but which can also adjust themselves to short-run fluctuations in the demands that are made on them. Controls, as they are usually conceived in organizational planning, are directed toward adapting to large permanent changes in the environment and the system involved, not to these short-range changes. Consider what is necessary to take care of such variations.

First, we obviously require flexibility of facilities and equipment. For example, the direction of flow in the third Lincoln Tunnel connecting New Jersey and New York City can be reversed depending on the change in demand from morning to evening. The same can be done on two center lanes of the Chicago Expressway. Ideally, we might like to have facilities that would expand or contract with use. This is possible to some extent but seldom sufficiently so. Therefore, flexibility and controlled use of facilities must be exploited.

There are two approaches to control. One attempts to stabilize demands made on a system over the long run, the other over the short run.

Consider the long-run orientation first. There is the case of the manufacturer of machine tools whose demand was subject to large fluctuations in successive years depending on swings of our economy. The company looked for and found another highly cyclical product, involving the same technology it already used, whose variations in demand ran counter to those of machine tools highway construction equipment. By entering into this new business it reduced the variations in annual production loads to only a fraction of what they had been previously.

In another case a company reduced the uncertainties arising from small orders for products the sale of which was unprofitable, by developing an incentive scheme for its sales force that was profit, rather than volume, oriented. It paid no commission on sales

that were unprofitable to the company, and higher commissions than before on profitable sales. This scheme drastically reduced the sale of unprofitable items which could not be dropped from the product line, and significantly increased the sale of profitable items.

The principle involved in this last type of control is one of the most important in adaptative planning because it provides an effective way of handling short-range, as well as long-range, variations in the system. It involves motivating participants in the system to act in a way that is compatible with the interests of the organization as a whole, and it does this by providing incentives which make individual and organizational interests more compatible.

Consider this principle in the realm of traffic control and how it might be used to induce people to use transportation facilities in such a way as to serve their own and their community's interests more effectively. First, the tolls across bridges, tunnels, and turnpikes, at least during periods of heavy demand, could be made inversely proportional to the number of passengers in a car. More specifically, tolls could be based on the number empty seats in an automobile. Thus, a two-seat car with two passengers would have a lower toll than a six-seater with two, three, four, or five passengers. This would encourage use of smaller cars as well as better occupancy of all cars.

Secondly, tolls might vary with demand. The heavier the demand for a facility, the higher the charges might be. Thus, charges could be increased during peak hours and decreased during off-hours. Some commuting train services have already taken this route, but facilities serving automobiles have not.

Adaptive planning should not only build into the system controls which protect against major and relatively stable changes in it and its environment; it should also build adaptiveness into the components of the system so that short-run variations can either be more adequately handled or reduced.

If a completely adaptative system could be designed and constructed, it would require no planning. Hence the ultimate ideal of the adaptative planner is a system for which planning is no longer necessary.

VI. The Nature of Education

In order to develop an operationally meaningful definition and measure of education I must resort to some basic concepts of decision theory, in particular to the concept of a problem situation. An individual can be said to be in such a situation if the following conditions hold :

(a) At least two alternative courses of action are available to him.

Unless this condition holds there can be no choice, and without choice there can be no problem.

(b) At least two possible outcomes can occur.
If this were not so, it would not matter what the individual chose to do; the same outcome would occur no matter what he did and hence no real choice would exist.

(c) At least one of the set of alternative outcomes must be preferred by the individual to at least one other.

Were this not the case, even if alternative outcomes could occur, it would make no difference to the individual which occurred.

(d) The alternative courses of action must have some, and unequal probabilities of producing the preferred outcome.

Otherwise the choice would not affect the outcome.

(e) The individual must be in doubt as to which course of action is best.

If he knows, or believes he knows, which is best, subjectively he has no problem, even though all the objective components of a problem may exist.

There are, then, four types of component of a problem situation :

$\underline{I}$: the individual or group that has the problem.

$\underline{C_i}$: the available alternative courses of action; $\underline{i} = 1, 2, \ldots, \underline{m}$, and $\underline{m} \geqslant 2$.

$\underline{O_j}$: the alternative possible outcomes; $\underline{j} = 1, 2, \ldots, \underline{n}$, and $\underline{n} \geqslant 2$.

$\underline{E}$: the environment; those factors which affect the probability that any outcome will occur if any available course of action is selected.

In addition there are three types of measures (parameters) of a problem situation :

$\underline{P_i} = \underline{P}(\underline{C_i} \mid \underline{I},\underline{E})$: the probability that $\underline{I}$ will select $\underline{C_i}$ in $\underline{E}$.

$\underline{E_{ij}} = \underline{P}(\underline{O_j} \mid \underline{I}, \underline{C_i},\underline{E})$: the probability that $\underline{C_i}$, if selected by $\underline{I}$ in $\underline{E}$, will produce $\underline{O_j}$ the efficiency of $\underline{C_i}$ for $\underline{O_j}$ in $\underline{E}$.

$\underline{U_j}$ = the utility or relative value of $\underline{O_j}$ to $\underline{I}$ in $\underline{E}$.

It follows then that the expected utility of a problem situation to its occupant, $\underline{I}$, is

$$\sum_{\underline{i}} \sum_{\underline{j}} \underline{P_i}\ \underline{E_{ij}}\ \underline{U_j}$$

Now communication is a process by which one individual changes, by use of messages (signs and symbols), any one or combination of parameters of another's, or his own, problem situation. (This definition is developed in detail in another place : Ackoff, 1958). I have tried to show (in the article cited) that to the extent that a message modifies a receiver's probabilities of choice, it informs him; to the extent that it modifies the efficiencies of his choice, it instructs him; and to the extent that it modifies his utilities, it motivates him. Measures of the amount and value of each of these modes of communication have also been developed.

The reason for this all too brief treatment of some aspects of decision and communication theories becomes apparent in my proposed definition of education :

> Education is any communication or demonstration process which increases the recipient's expected utilities in one or more problem situations.

It follows from this definition that if education succeeds it must either inform, instruct, or motivate; and it must do so in such a way as to increase the value which the recipient can derive from life. The definition does not restrict education to the formal but it allows for education in the home, on the street, by reading the press, and so on.

Miles Martin and I (see Martin, 1963) have shown that the measures of communication defined above can be applied and hence have shown the possibility of measuring education as defined above. However, such measurements are too costly and time consuming to have

application at present to evaluating an educational process; particularly if it involves more than a few people. Before considering other possibilities I should like to observe that the measures cited make it possible to determine the extent to which much-used scores scores on achievement tests correlate with the measure of education proposed here. Such a determination would give achievement-test scores something to be an index of.

It should be apparent that however well achievement-test scores correlate with increases in expected utility that derive from information and instruction, they can reveal little about what motivation has been transmitted in the educational process. The same is true, but perhaps to a lesser extent, with respect of the use of expected income as an index of the value of education. Many economists have been frank in identifying the non-economic objectives of education but this has not inclined them to try to incorporate the intrinsic values of education in any of their models. (See for example, Benard, 1966).

William Platt (1961) did develop a conceptual model of education and its socio-economic role which takes into account both its intrinsic and extrinsic value. I do not know whether he has ever put his model into mathematical form. Nevertheless, I have found it very suggestive. I discuss it here because I want to use it as a foundation on which to build a conceptual model of my own.

Platt's conception (see Figure 1) is based on the conviction that more than correlations between investment in education and economic well-being must be obtained. We must seek explanations of the effect of education on economic well-being, at the least, and incorporate the resulting understanding into decision models that are suited to policy-makers' needs. That is, we must learn not only what effects education has, but how it brings them about.

It seems apparent that economic development depends on investments in research and development and in productive plant, as well as in education. The way investment in research and development affects the rate of economic development appears to depend on past educational investments because the return from investments in research and development depends on the quality of the people involved in it. Similarly, the way investment in productive plant affects the rate of economic development seems to depend on past investments in both research and development and education.

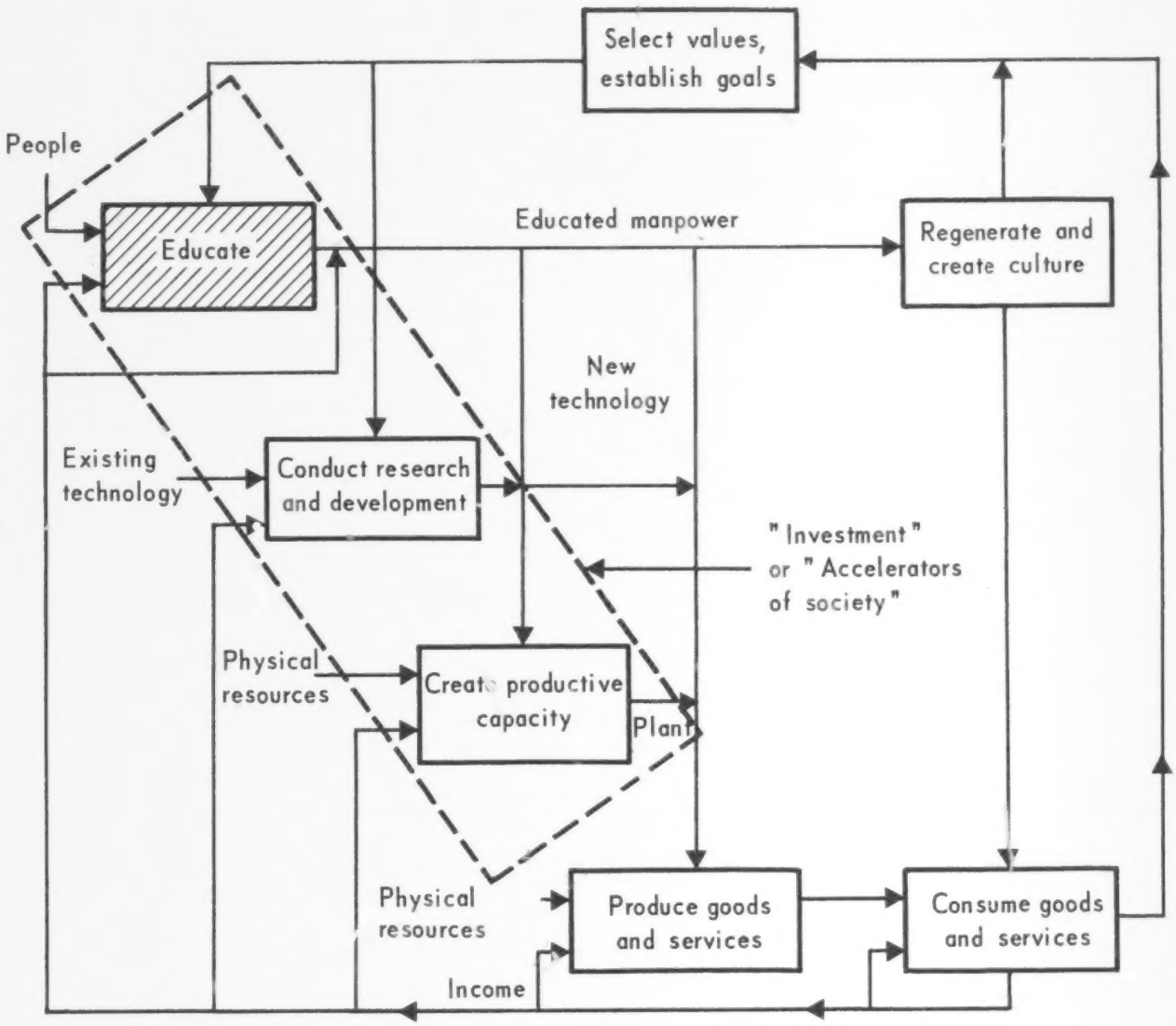
The current rate of increase in economic development depends on past investments in education. It will be more sensitive to what has been invested in some years than in others. Consequently, this and all other variables characterizing investments will have to be weighted cumulations.

Platt's model does not take into account the importation and exportation of educated people, capital, and goods and services. Nor does it consider investments in the distribution and marketing system necessary to bring goods and services to consumers. I shall try to take these into account in my expansion of his model.

Can the kinds of relationships between variables which are necessary for constructing such a model be found ? I am sure they can be because similar and equally difficult functions have been found in similar contexts. For example, several years ago the Operations Research Group at Case Institute of Technology was involved in a study sponsored by the National Science Foundation (Office of Special Studies) which was directed toward measuring the effect of investments in research and development by a firm on its economic development. Such development depends on a variety of types of investment and expenditure; for example, on investment in plant, marketing, and administration, as well as research and development. The relationship between these variables and their relationship to economic development of the firm is not dissimilar from the kind of relationship I have been discussing in connection with educational investments. In a study of three chemical companies, Dean and Sengupta

Figure 1*

EDUCATION AS A CONTRIBUTION TO DEVELOPMENT



This diagram shows how education and other forms of investment contribute to development. The object of the system is "the good life", made up of cultural and economic attainment. The inputs to "educate" are people and education budgets. Controls on "educate" are values and goals of the society. Output from "educate" is educated people who perform the productive operations of the economic system, consume its goods and services, and create and regenerate its culture.

* *From Platt (Aug. 1961), p. 4.*

(1962) have developed the functions necessary to make such a model useful. (For a non-technical discussion of this and related work see Ackoff, 1965).

I think it likely that the forms of the mathematical functions which are suitable for explaining the effects of educational investments in different urban areas, will be similar but that the parameters of these functions will differ. The similarity of form would reflect similar functioning of education in different communities. The difference in parameters would reflect the uniqueness of each community. This was found to be the case in deriving the research-and-development functions for different chemical companies.

A Proposed Model of Education's Role in the Community

Borrowing heavily from Platt I would like to propose the conceptual mod l shown in Figure 2. In this model resources have been divided into three types : manpower, money, and (extrinsic) goods and services (i.e., ones which are useful as instruments for obtaining other things of value). It will be observed that these three resources flow into five types of activity : education, research and development, production, marketing and distribution, and the creation and maintenance of culture (i.e., intrinsic goods and services, ones which have value in themselves). Each of these are income-producing activities which feed money back into the pool of financial resources. Each of these resources may be exported or imported. The importation of one may involve the exportation of another.

Goods and services flow from production to marketing and distribution, and then to the pool from which they are divided between personal consumption, institutional consumption and export.

Education affects the productivity of research and development, production, and marketing and distribution. It also affects the consumption patterns of both intrinsic and extrinsic goods and services. In addition it provides the input (together with importation) to the manpower pool.

The amount and distribution of consumption of intrinsic and extrinsic goods and services affects the goals that a community sets for itself. These goals in turn affect the allocation of its resources which affects the amount of goods and services that are made available for consumption.

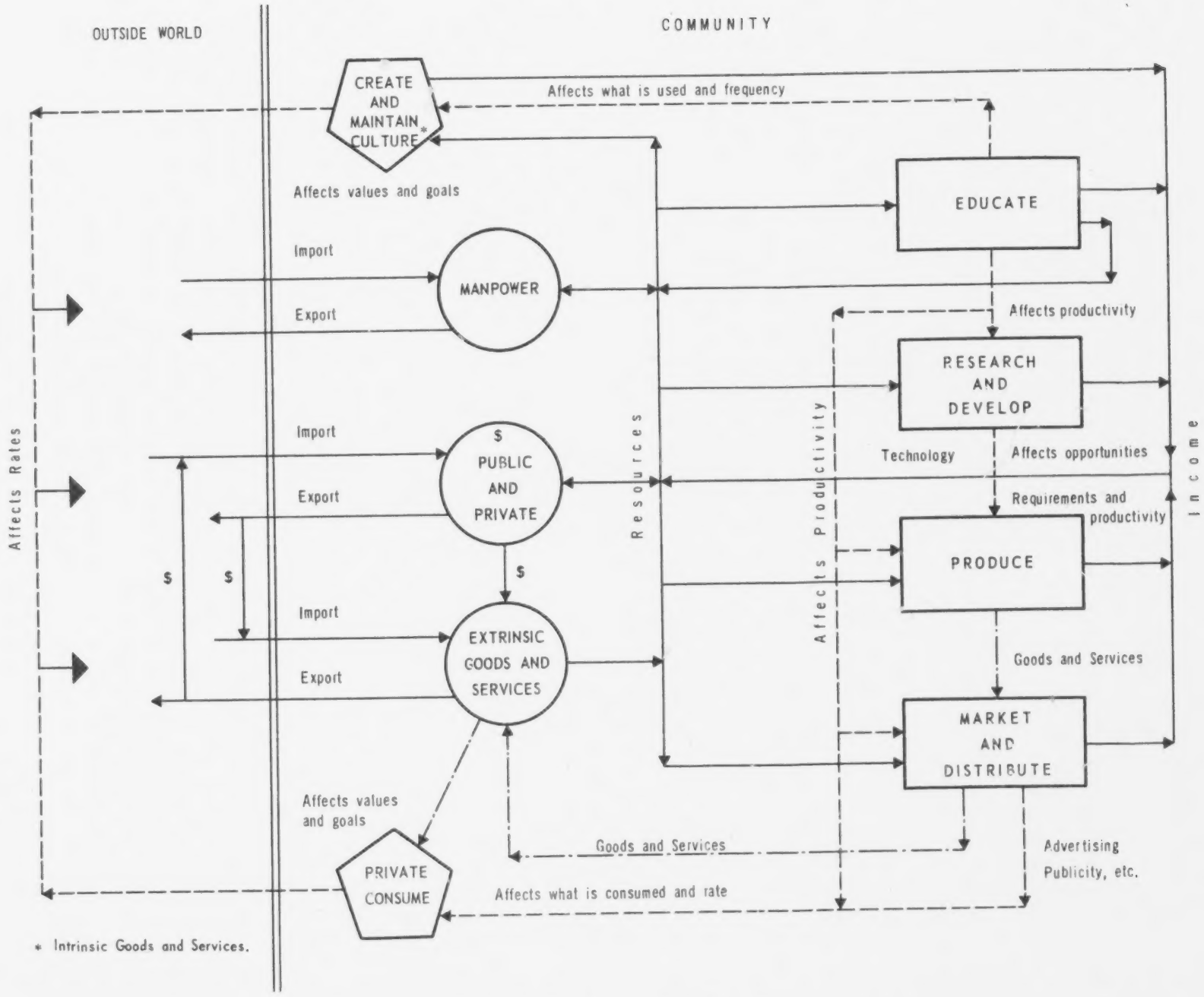
My conceptual model has been constructed with the United States in mind. It requires adaptation for use in other societies. Furthermore, this model by itself cannot solve any problems of educational planning, but it can help to define those problems that must be solved before such planning can be done effectively. Past efforts to plan education have been carried out without adequate understanding of the socio-economic processes in which education is imbedded. There is a great need for research directed toward producing such understanding. Models of the type I have proposed can help in planning such research.

The model suggested can help in efforts to construct a measure of performance of an educational system in a community. It can also help us to obtain estimates of that measure. Let me consider each of these possibilities in turn.

A change in the resources invested in education may have a continuing effect on a community's consumption of both intrinsic and extrinsic goods and services. The change in utility produced by the changes in consumption is the utility of the change of investment in education. The amount of change in consumption that a change in educational investment produces depends on many factors, including how the investment in education is used; that is, on educational policies and practices. Detailed models of the educational system would be required to select optimal policies and practices, but these models themselves require a measure of total system performance as their dependent variable.

Figure 2

SCHEMATIC MODEL OF COMMUNITY



Consider first how, in principal, we might measure the utility of the change in consumption in a community.

(a) We need measures of the amount of an individual's consumption of intrinsic and extrinsic goods over some specified time period (e.g., a year)

To measure the amount of extrinsic goods and services consumed by an individual we can use its cost in standardized monetary units. This is not only the cost to the individual, but the amounts paid by anyone (including the community) for the goods and services consumed by that individual.

To measure the amount of intrinsic goods and services consumed by an individual we can use the number of hours that the individual has used such goods and services; for example, the hours spent in museums, parks, or in front of television.

These measurements could be refined by dealing with classes of each type of goods and service and measuring consumption for each of these. The results could be aggregated subsequently.

(b) The amounts of different types of consumption must be made commensurate (i.e., expressed on a common scale) so that total consumption can be measured.

This can be done by determining the monetary value of each type of consumption to the individual. The monetary value that an individual places on a certain amount of consumption of a particular type is the maximum amount of money he is willing to spend to obtain it. Note that this amount is generally larger than the amount actually spent in most purchases since the purchaser attempts to obtain a net increase in utility; that is, to spend an amount of money the utility of which to him is less than the utility of the goods or services obtained in return.

(c) Since the utility of money is seldom a linearly increasing function of amount of money, we cannot add the monetary value obtained in step 2 to obtain a measure of total value of consumption. It is necessary, therefore, to obtain the individual's utility function of money. Once this is obtained it is possible to determine the individual's utility of the sum of monetary values of what he has consumed.

(d) When the preceding three steps have been carried out for each, or a representative sample, of the individuals in the community, it is necessary to aggregate the individual utilities into a measure of the social utility of consumption in the community. To see how this might be done it is necessary to realize that since utility is generally measured on an interval scale (i.e., with arbitrary zero point and scale units) the scale on which the utility of money is measured can be transformed so that the integral of each individual's utility function over its range is equal to some preassigned constant, C. Now if the same constant is used for each individual in the community and the resultant individual utility measures are added to form a measure of total social utility, an egalitarian social ethic has been used. Any social ethic can be expressed in the way the C's (total amounts of utility) are assigned to members of the community. (For discussion of this aspect of social utilities, see Minas and Ackoff, 1964).

The four steps briefly sketched above can yield a measure of social utility of consumption in a community, and hence of the change in consumption produced by educational investments and policies in any period. Since such changes take time and last over time, a way of handling them over multiple periods is required. The simplest thing to do is sum the measures of social utility over the periods affected by changes in educational investment and policy. To do so would be to consider the utility of utility to remain constant over time. The usual discounting of future benefits can be handled at the point where

consumption is converted to monetary value (step 2); that is, consumption of a fixed amount of goods and services this year may be given a higher (or lower) monetary value than the same consumption next year. These would then convert into different utilities for the individual.

Since the utility that an individual places on money is a function of how much money he has and what goods and services are provided to him at no cost, his utility function of money is likely to change over time. Hence it is necessary to know how and when these changes take place since future benefits should be determined in terms of future utility functions, not current ones.

In the preceding discussion I have assumed an ability to measure the change in consumption that is due to educational investments and policies. In practice, of course, such changes in consumption as occur, are due to a large number of factors, both controlled and uncontrolled. To isolate the contribution of education in this sea of interactions requires a mathematical formulation of such a conceptual model as I have suggested. The planner must conduct his experiments conceptually, by use of models. This is the only way he can isolate the effect of a part of a highly integrated system. The real world is not his to experiment with, and if it were, it would respond too slowly to allow him to explore as wide a range of alternatives as a model enables him to consider.

VII. Conclusion

By now I am certain to have exhausted the audience even though I have obviously not exhausted the subject. So let me summarize this "summary".

My objective has been to open to examination what I consider to be the central problems of strategic educational planning. I feel that we have allocated too much of the scarce research resources available for work on education to tactical problems, and too little to the strategic. Discussion at this conference has repeatedly centered around the dependence of solutions to tactical problems on solutions to strategic ones. In circumscribing and isolating subsystem problems so that we can apply existing research technology is a justifiable activity, but to pretend that it can yield significant aid to educational planners is unmitigated self-deception. Our primary concern must be with the problems, not with the techniques and tools of research. Where the techniques and tools are not adequate for the problems, we must develop ones that are.

After a discussion of the type in which I have just engaged the skeptical are likely to nod their heads knowingly and say, "See what I mean. In order to solve a problem that is already very complicated, you find that you must solve many other problems that are even more complicated and difficult. Do you call this progress ?".

Such a reaction is based on the false assumption that in science questions can be arranged in a hierarchy of complexity and difficulty. Simplicity is not a characteristic of a problem but of our current ability to cope with it. Furthermore, science does not proceed from simple facts to complex theories. First, any fact, when probed in depth in circumstances where it makes an important difference, becomes as complicated as a theory, and "in fact" requires confirmation of a large number of theories in order to confirm it (the fact). Secondly, facts are just as likely to follow from theory as theories from facts. More specifically, we have come to realize that there are systems (and the community is among them) knowledge of whose parts cannot be developed continuously without simultaneously developing understanding of the larger systems that contain them.

The ability to evaluate any one community service ultimately depends on our ability to evaluate every other service. Hence, progress must take place along a front, not by a series of deep but narrow penetrations into ignorance.

COMMENTAIRES DU PRESIDENT :

VERS UNE PLANIFICATION STRATEGIQUE DE L'ENSEIGNEMENT

par Russell L. Ackoff

I. Introduction

Il arrive trop souvent que celui qui tente de résumer une réunion comme celle-ci ne remplisse que le rôle secondaire d'une note de bas de page : appendice sans grande importance au texte principal. Pour éviter ce danger, je ne jouerai ni au critique, ni au commentateur. Les participants à cette réunion sont capables d'assimiler ce qu'ils ont entendu et d'y consacrer leurs réflexions. Dans ce "résumé" je traiterai de sujets qui n'ont pas été abordés ici, plutôt que de ceux qui l'ont été.

Ce que nous avons examiné, c'est l'enseignement et non la planification de l'enseignement. Le mot classification a rarement été prononcé. Le processus d'élaboration des décisions en matière d'enseignement n'est pas nécessairement la planification de l'enseignement. Bien que la planification implique un processus de décision, tout ce qui a trait à ce processus n'est pas de la planification. Je vais m'attacher à cinq questions :

(i) Qu'est-ce que la planification ?

(ii) En quoi planification "tactique" et planification "stratégique" diffèrent-elles ?

(iii) Quel est le contenu d'un plan stratégique ?

(iv) Quelles sont les principales "stratégies" de la planification stratégique ?

(v) Qu'est-ce que l'éducation et quelle mesure de son output peut être utilisée aux fins de planification ?

II. Nature de la planification

La planification a trois caractéristiques essentielles. En premier lieu, la planification présuppose un système de décisions. Ceci signifie qu'elle requiert un ensemble de deux décisions ou plus, chacune d'elles étant dépendantes d'au moins une autre décision. Une décision dépend d'une autre si l'effet de la première sur le fonctionnement du système est, en retour, affecté par la deuxième. La planification est donc constituée par une série de décisions solidaires.

D'autre part, la série de décisions nécessaires à la planification est si complexe qu'il n'est pas possible de les traiter globalement. Cette série de décisions doit donc être divisée en sous-groupes assez limités pour qu'on les traite individuellement, sans cependant être indépendants les uns des autres. Il est nécessaire d'examiner les sous-groupes des décisions initiales à la lumière des sous-groupes qui leur font suite. Ceci nous mène à la deuxième caractéristique essentielle de la planification.

La planification est un processus qui anticipe les décisions. Il faut du temps entre la décision et l'exécution. Cette période doit être suffisamment longue pour permettre le réexamen des décisions antérieures.

La troisième caractéristique de la planification est qu'elle se situe dans un milieu dynamique. Ceci veut dire que le contexte du système que l'on planifie subit des changements continuels qui, à moins de mesures appropriées, affecteront le système même. C'est pourquoi ne pas agir sur le système en voie de planification risque fort d'entraîner des conséquences préjudiciables. C'est parce que les autorités responsables ne sont pas convaincues que l'inaction a des répercussions néfastes que de nombreuses organisations ne s'engagent pas dans la planification à long terme. Faute de plans à long terme, les administrateurs doivent faire face à tant de crises dans le court terme qu'ils n'ont plus le temps de songer à la planification à long terme, qui seule pourrait prévenir de telles crises à l'avenir. La non-planification engendre sa propre justification.

En résumé : planifier, c'est anticiper les décisions. Les décisions en cause forment un système de parties solidaires. Parce que ce système est trop vaste et complexe pour qu'on le traite globalement, la planification doit viser chaque partie en particulier, et chaque partie doit être évaluée et réévaluée, compte tenu d'une autre partie au moins. Le système que l'on planifie est intégré dans un milieu dynamique, de telle sorte que son rendement se détériorera vraisemblablement, à moins que les autorités responsables n'interviennent dans le processus, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'organisation.

III. Planification tactique et planification stratégique

La distinction entre problèmes "tactiques" et problèmes "stratégiques" n'est pas simple; elle repose sur au moins trois catégories de problèmes, chacun d'eux se présentant à un degré différent.

On dira d'un problème qu'il est plus tactique qu'un autre, si sa solution a des répercussions de courte durée ou, ce qui revient au même, si elle peut facilement être modifiée ou abandonnée. Plus les effets de la solution d'un problème sont de longue durée, plus ce problème est stratégique. C'est ainsi que le problème de savoir ce que l'on enseignera demain est plus tactique que celui qui consiste à déterminer l'implantation d'une nouvelle école. Nous disons de cette caractéristique du problème qu'elle en représente la portée.

Deuxièmement, un problème est plus stratégique qu'un autre, selon l'importance de la partie de l'organisation qui est directement affectée par sa solution. Par example, le problème qui a trait au choix d'un principe de comptabilité est vraisemblablement plus tactique que, disons, l'établissement du budget d'un département. Nous dirons de cette caractéristique du problème qu'elle en constitue le champ.

Enfin, un problème est plus stratégique qu'un autre, s'il implique la formulation de fins, de buts et d'objectifs. Tous les problèmes, en fait, impliquent le choix de moyens pour atteindre un objectif souhaitable; mais, dans de nombreux cas, ceux qui recherchent une solution prennent pour hypothèse que l'objectif souhaitable est donné ou prévu. Dans la mesure où il en est ainsi, les problèmes sont d'ordre tactique. Au contraire, la planification de l'enseignement qui suppose l'établissement d'objectifs et de fins est plus stratégique qu'un type de planification qui accepte un ou plusieurs buts comme désirables. Cette caractéristique d'un problème se réfère à son orientation vers un objectif donné.

Il n'existe pas, sur l'échelle des valeurs de ces caractéristiques, de points précis permettant de faire une distinction nette entre problèmes tactiques et problèmes stratégiques. Le mieux que nous puissions dire est qu'un problème est plus ou moins tactique ou stratégique qu'un autre, au regard de chacune de ses caractéristiques.

IV. Contenu d'un plan stratégique

Même s'il est rare qu'il en soit ainsi, un plan stratégique devrait être divisé en cinq parties :

1. Etablissement des objectifs et des fins de l'organisation.
2. Formulation des politiques d'exécution.
3. Détermination des ressources nécessaires : comment les réunir et comment les répartir entre les différents éléments de l'organisation.
4. Mise au point de la structure de l'organisation nécessaire à l'exécution du plan.
5. Mise en place des commandes de l'exécution du plan.

Ces parties, bien entendu, ne peuvent pas être préparées indépendamment les unes des autres; puisque la planification concerne un système de décisions, chaque partie du plan est, par définition, solidaire d'une autre au moins. L'ordre dans lequel je vais les examiner n'est donc pas nécessairement l'ordre dans lequel elles devraient être commencées ou achevées. En fait, les cinq parties devraient être mises au point simultanément.

IV-1. Objectifs et buts

Une planification effective exige bien entendu que les objectifs et les buts (c'est-à-dire les objectifs qui devraient être atteints au cours d'une période déterminée) soient définis en termes opérationnels, de telle sorte que le degré de réalisation de ces objectifs puisse être mesuré. Par exemple, affirmer qu'un ministère a pour tâche de "promouvoir le bien-être de l'homme" ne signifie rien, si l'on n'a pas prévu les moyens permettant de savoir dans quelle mesure cet objectif est atteint. Une déclaration d'objectifs ne devrait pas ressembler à un sermon, comme c'est très souvent le cas. Ce doit être, au contraire, un ensemble d'instructions qui prévoit les moyens d'une auto-évaluation quantitative.

En termes plus généraux, l'objectif de toute organisation est de maximaliser la différence : "gains moins pertes", ou "bénéfices moins coûts". Définir les objectifs, c'est donc simplement spécifier les coûts et les bénéfices, et mettre en place des moyens d'évaluer les uns et les autres selon une échelle de mesure commune. Ce n'est pas une tâche aisée, mais chaque décision requiert ce processus. Dans la plupart des cas, l'opération est accomplie inconsciemment et implicitement, mais on ne peut l'éviter. Cet aspect de la planification devrait être clairement explicité afin qu'il soit contrôlable et, de ce fait,plus susceptible d'être progressivement modifié qu'il ne le serait s'il était enterré dans l'inconscient collectif.

Une fois qu'il a mis au point les mesures permettant de déterminer le degré de réalisation de chaque objectif, si ces mesures n'ont pas une échelle commune, le planificateur doit trouver un moyen de transformer les diverses échelles en une échelle "standard". C'est l'échelle monétaire qui est le plus couramment utilisée, parce que la plupart des "valeurs" ont un prix maximum, celui qu'une personne ou un groupe est prêt à payer pour les acquérir. Ceci implique non pas que l'argent soit la valeur ultime, mais simplement que la plupart des valeurs peuvent être transformées en équivalents monétaires, en raison de la nature de notre économie et de notre comportement au sein de cette économie.

Lorsque toutes les mesures ont été transformées en une échelle standard, il est nécessaire d'indiquer comment elles peuvent être combinées (c'est-à-dire agrégées) en une mesure unique de l'efficacité du système.

Dans la dernière partie de ce document, je m'efforcerai d'indiquer comment le type de programmation que je viens de décrire peut s'appliquer à l'enseignement.

IV-2. Politiques d'exécution

Dans un plan stratégique, il n'est pas nécessaire de préciser des politiques d'exécution pour chaque élément composant l'organisation. Il est préférable de les formuler à l'occasion des plans tactiques que l'on prépare pour chacun des éléments. Le plan stratégique ne devrait traiter que des politiques qui comportent des interactions entre les éléments les plus importants de l'organisation. La nature des politiques à formuler variera selon la nature et la structure de l'organisation.

Pour trouver les politiques optimales pour un système, il est nécessaire d'établir un modèle de ce système qui représentera de façon appropriée chacune de ses composantes importantes et de ses opérations. On n'a pas encore construit de modèles globaux d'un système, même pour les secteurs militaires et industriels où les travaux de recherche sont pourtant importants. Toutefois, on a établi des modèles de divers éléments d'organisations militaires et industrielles, qui, réunis, peuvent fournir un modèle approximatif de l'ensemble. C'est ainsi que dans le contexte industriel, de nombreux modèles des fonctions de financement, de production et de distribution ont été élaborés. Par contre, il est plus rare de trouver des modèles satisfaisants pour les fonctions de recherche, de développement, de marketing et de personnel. Lorsqu'un processus n'est pas suffisamment clair pour que l'on puisse construire un modèle objectif, il est en général possible de mettre au point un modèle subjectif du processus, modèle qui reflètera ce que les autorités responsables pensent de son fonctionnement. En reliant une série de modèles objectifs et subjectifs, même imparfaits, on obtiendra une meilleure base de planification des décisions, que ne le serait une conception subjective du système que l'on n'aurait jamais explicitée.

La recherche opérationnelle a mis au point des modèles des composantes de systèmes militaires et industriels depuis un certain temps, mais ce n'est que récemment que l'on a commencé à s'intéresser aux systèmes d'enseignement. Il est évident qu'il faut aller beaucoup plus loin dans cette voie pour que l'on ait une base suffisante pour la planification. Cependant, la formulation explicite des modèles subjectifs des processus d'enseignement, qui sont maintenant utilisés implicitement par les planificateurs et les responsables de la politique, devrait constituer un premier pas dans la bonne direction. Cela permettrait au moins d'aboutir à des décisions cohérentes et ferait apparaître les domaines où notre ignorance risque d'être la plus coûteuse. La conscience de l'ignorance est toujours le premier pas vers le développement de la connaissance.

En plus du modèle du système que l'on planifie, un modèle (ou des modèles) du milieu dans lequel il fonctionne sont également nécessaires. L'environnement peut être sous-divisé en deux parties: les consommateurs (ceux qui sont directement affectés par le service) et le contexte socio-économique dans lequel le système fonctionne.

Pour construire un modèle satisfaisant du consommateur, il faut comprendre d'abord pourquoi il consomme, mais aussi où il consomme, avec qui, quand, etc. Peu d'organisations (même les entreprises industrielles) peuvent répondre en pleine connaissance de cause à ces questions. La recherche opérationnelle peut les y aider. C'est ainsi qu'une compagnie pétrolière fit faire une étude afin de déterminer les raisons pour lesquelles les conducteurs d'automobiles et de camions choisissaient certaines stations service plutôt que d'autres. Des analyses de régressions effectuées auparavant avaient fait apparaître trente-cinq variables significatives, mais n'indiquaient pas à la compagnie comment choisir l'implantation de ses stations, ni comment les construire ensuite judicieusement. C'est alors

que les spécialistes de la recherche opérationnelle, intervenant au second stade de l'étude, ont décidé de montrer comment le volume de la circulation se répercutait sur le volume des ventes dans les stations service, en calculant le pourcentage des voitures venant des différentes routes qui s'arrêtaient à une station service située à une intersection. Ils cherchèrent ensuite à expliquer les différences entre la contribution de chaque route au volume des ventes, ce qui aboutit finalement à une théorie qui expliquait et prédisait le comportement de la circulation. Cette théorie était fondée sur le fait que les consommateurs s'efforcent de réduire au minimum le temps nécessaire pour obtenir le service. Il apparut que les préférences de marques n'avaient qu'une influence négligeable sur les achats. Le consommateur ne peut pas percevoir les différences entre les marques d'essence, même si elles existent. Prendre pour hypothèse qu'il choisit d'après les caractéristiques des produits, c'est supposer qu'il achète en fait sur la base de préférences dictées par la publicité, ce qui revient à le considérer comme moins rationnel qu'il ne l'est habituellement. J'ai constaté, d'une façon générale, que dans les travaux de recherche consacrés aux motivations du consommateur, il est préférable de prendre pour hypothèse qu'il est rationnel plutôt que le contraire, même si cela implique que le fournisseur, lui, ne l'est pas.

Si la société pétrolière comprend que le consommateur tient à ne pas perdre de temps, elle dispose d'une base lui permettant de planifier efficacement sa distribution et ses ventes, ainsi que ses produits.

Les modèles expliquant le comportement des consommateurs des services publics sont rares. La plupart des modèles de consommation des services publics qui ont été mis au point (par exemple, pour les transports) sont en général descriptifs et fondés sur des analyses de régression beaucoup plus que sur une théorie explicative. Néanmoins, on a tenté de construire quelques modèles explicatifs. A l'Université de Pennsylvanie, nous avons mis au point un modèle visant à expliquer le choix individuel des moyens de transports urbains. On est parti de l'hypothèse que chaque individu choisit le moyen de transport qui maximalise l'utilité qu'il en escompte. Cette utilité a été mesurée en fonction du coût, du temps, du confort et des facilités offertes (voir Management Science Center, 1965, et Benson et Martin, 1966). Je ne vois pas pourquoi des modèles similaires ne pourraient être construits pour la consommation des services d'enseignement.

Une planification efficace implique également une vue raisonnablement exacte de l'avenir, englobant une information sur tous les aspects de l'économie et de la société entrant en jeu dans le système que l'on planifie. On attache, dans la prévision, une telle importance aux incertitudes du futur, que l'on accorde relativement peu d'attention aux aspects de l'avenir qui sont virtuellement inévitables. La mise en évidence de ces "facteurs inévitables" fournit souvent une base plus valable pour les plans à long terme que les prévisions relatives aux aspects incertains.

C'est ainsi qu'une analyse a montré que la construction des rues et des autoroutes supplémentaires qui seraient nécessaires dans la plupart des zones urbaines des Etats-Unis pour ne pas dépasser à l'avenir le niveau actuel des embarras de la circulation, exigerait des ressources excédant les moyens financiers de la plupart des villes. On a montré également que, la plupart des véhicules urbains ne transportant pas plus de deux passagers, on augmenterait beaucoup plus la capacité des rues avec l'emploi généralisé d'une petite voiture à deux places qu'en consacrant toutes les ressources disponibles à multiplier les artères et à les élargir. Il semble donc vraisemblable, sinon inévitable, que l'on devra en dernière analyse, réduire considérablement la taille des véhicules urbains. D'autre part, l'analyse du problème de la pollution de l'air dans les zones urbaines donne à penser que dans un proche avenir les moteurs à combustion interne seront très vraisemblablement interdits.

Conscientes de ces "faits inévitables", plusieurs compagnies ont conçu des types d'automobiles pour la ville qui tiennent compte de ces analyses. A mesure que ces véhicules deviendront disponibles, l'acheteur s'y convertira, si bien que ces prophéties se réaliseront vraisemblablement d'elles-mêmes.

Faire apparaître "l'inévitable" est rarement une tâche aisée, et les résultats n'en sont en général évidents que rétrospectivement. Les spécialistes de la recherche opérationnelle et les analystes des systèmes peuvent aider dans une grande mesure les planificateurs, en mettant au point le type d'analyse nécessaire pour mettre en évidence ces aspects relativement certains de l'avenir, dont il faudra tenir compte.

IV-3. Ressources : besoins et moyens d'y pourvoir

On distingue quatre types de ressources : les hommes, les machines (c'est-à-dire l'équipement et les installations), les matières premières et l'argent. La planification financière - le seul type de planification habituel - n'est donc pas une planification globale des ressources.

Quand on planifie les ressources, il faut répondre à un certain nombre de questions : étant donné les objectifs, les buts et les politiques d'exécution, quelles ressources de chaque type seront nécessaires ? quand ? et à qui ? Comment engendrer, développer ou acquérir ces ressources ? Si les études effectuées montrent que les ressources nécessaires ne peuvent être obtenues, il faut réviser les buts ou les politiques jusqu'à ce qu'on arrive à l'équilibre. Autrement dit, il devrait y avoir une interaction permanente entre la détermination des objectifs, l'élaboration des politiques d'exécution et la planification des ressources.

La planification des ressources exige, bien entendu, que l'on sache comment la productivité d'une unité de l'organisation est affectée par le montant des ressources que l'on met à sa disposition. C'est ainsi que nous devons déterminer comment la quantité et la qualité de l'enseignement qui peut être fourni sont liées au montant et à la nature des diverses ressources disponibles; ce qui exige des recherches continues.

La recherche opérationnelle a été souvent employée pour déterminer la taille ou la capacité optimales d'une unité de production, pour savoir où l'implanter, comment l'entretenir et quand la remplacer. Il n'y a pas de raison que cette forme de recherche ne soit pas appliquée aux moyens d'enseignement.

Lorsque des ressources - professeurs ou matériels d'enseignement - proviennent de sources extérieures, on admet généralement qu'elles continueront à être fournies en quantité voulue. Si l'approvisionnement futur est incertain, ou si l'on s'attend qu'il devienne trop onéreux, il faut envisager soit d'acquérir (ou de développer) la possibilité de répondre à ses propres besoins, soit de négocier des contrats à long terme avec des fournisseurs extérieurs. La recherche opérationnelle peut aider à évaluer l'alternative "faire ou acheter".

Nous savons encore moins de choses sur la planification du personnel ou de la main-d'oeuvre que sur tout autre type de planification des ressources. On a discuté de modèles concernant le recrutement, la formation, la promotion, la réutilisation et la réduction du personnel, mais, à ma connaissance, on n'en a pas encore utilisé dans la planification stratégique, que ce soit dans le secteur privé ou dans le secteur public. Des recherches s'imposent donc d'urgence.

IV-4. Structure de l'organisation

Par structure de l'organisation, j'entends la façon dont les membres d'une organisation sont répartis en sous-groupes et dont les tâches leur sont attribuées; c'est-à-dire la façon dont la main-d'oeuvre (de toutes catégories, des cadres de direction aux travailleurs manuels) est sub-divisée selon les fonctions à remplir.

L'importance de la structure est mise en lumière par le très simple exemple que voici. L'une des principales villes des Etats-Unis a créé une autorité portuaire dont la principale source de revenu est constituée par les péages perçus lors de la traversée des ponts et des tunnels qui conduisent à cette ville. Tout naturellement, cette autorité cherche à ce qu'ils soient utilisés au maximum. Mais dans le même temps, le service de la circulation s'efforce d'encourager les gens à ne pas prendre leur voiture en raison des embouteillages quasi insolubles. Les objectifs poursuivis par ces duex organismes d'une même ville ne sont donc pas compatibles. Jusqu'à ce qu'il le deviennent, la ville continuera de jouer avec la population, comme s'il s'agissait d'une corde sur laquelle on tire dans des directions opposées.

Il n'y a que très peu de temps que l'on peut optimaliser la structure d'une organisation (Voir Sengupta et Ackoff, 1965, et Ackoff, 1966).

Cette possibilité scientifique découle du fait, reconnu, qu'il existe une correspondance entre les problèmes de structuration d'une organisation et une catégorie de problèmes mathématiques dont on s'est beaucoup préoccupé récemment. Même les plus grands ordinateurs ne permettent pas bien souvent de résoudre certains types de problèmes mathématiques, trop complexes pour être traités globalement. Les mathématiciens se sont donc efforcés de subdiviser ces problèmes en éléments qui puissent être chacun résolus, et de rassembler ces diverses solutions de telle sorte que l'on dispose au moins d'une solution approximative du problème original. On appelle décomposition la division d'un problème en éléments que l'on peut résoudre.

Comme on l'a indiqué précédemment, l'objectif d'une organisation est de maximaliser la différence entre ses gains et ses pertes, "gains" et "pertes" étant employés dans un sens très large. Les gains et les pertes d'une organisation dépendent de deux catégories de facteurs : d'abord, les décisions de l'organisation qui affectent les commandes (par exemple, nombre et taille des écoles et l'effectif des classes); en second lieu, l'évolution de certaines variables qui ne sont pas des commandes, mais qui entrent en jeu (par exemple, augmentation de la population et situation économique). En conséquence, si nous pouvons exprimer les gains et les pertes d'une organisation en tant que fonctions de ces variables - et c'est ce que la recherche opérationnelle commence à être capable de faire - nous pouvons traduire l'objectif global d'une organisation sous une forme mathématique. A ce point, le problème revient à trouver les valeurs des commandes, qui, dans certaines conditions imposées par les valeurs des autres variables, maximalisent les gains et les pertes.

A l'heure actuelle, il n'est possible d'obtenir les décompositions optimales - c'est-à-dire les meilleures structures possibles de l'organisation - que pour des organisations assez simples, mais on progresse rapidement. En outre, lorsqu'il s'agit d'organisations réelles, il se peut qu'on ne puisse pas les restructurer, si ce processus implique une large redistribution des responsabilités ou si le groupement des tâches ne correspond pas à la configuration traditionnelle (par exemple si les commandes des transports et de l'enseignement ne sont pas distinctes). Dans ce cas, afin de résoudre un grand nombre, sinon la plupart des problèmes que pose la structure de l'organisation, il faut recourir à un moyen autre que la restructuration. Deux méthodes sont possibles. Elles impliquent l'une et l'autre l'imposition de contraintes aux responsables des décisions des sous-unités,

contraintes qui produisent des résultats proches de ceux que l'on pourrait obtenir au sein d'une organisation "parfaite". (Ces méthodes sont examinées dans les articles mentionnés ci-dessus).

Les autres méthodes destinées à améliorer des structures inefficaces n'en sont qu'aux premières phases de la recherche, mais elles semblent très prometteuses, et l'on peut s'attendre qu'elles soient de plus en plus utiles pour le processus de planification.

Il ne suffit pas de spécifier la responsabilité propre de chaque unité de l'organisation, ou de mesurer son rendement. Tout plan devrait également comporter une classification, par catégories, des décisions nécessaires à l'exécution des tâches de l'organisation. En outre, il devrait indiquer à quelle personne ou à quelle fonction incombera tel ou tel type de décision. Si plusieurs instances sont en cause, le plan devrait préciser la manière dont les décisions seront prises par le groupe, c'est-à-dire si l'approbation de l'un des participants est nécessaire ou suffisante pour qu'une proposition soit acceptée ou rejetée. En outre, le plan devrait indiquer qui a la responsabilité de l'exécution de chaque type de décisions. Enfin, il devrait inclure le schéma d'un système d'information qui permettrait de prendre ces décisions et de les appliquer efficacement.

En attribuant ce pouvoir de décision et de responsabilité à des individus et à des groupes, il faut également déterminer la dimension optimale des unités d'exécution pour chaque fonction, le nombre optimal d'unités à placer sous l'autorité d'un administrateur et la manière optimale de grouper les unités (par exemple, suivant les fonctions ou suivant la localisation). Les informations voulues sont fournies par l'analyse requise pour mettre au point le système d'information nécessaire à la fonction de contrôle du système que l'on planifie.

IV-5. Systèmes d'information de la direction

Aux Etats-Unis, tout au moins, on manifeste un tel intérêt pour ces systèmes, qu'il tourne presque à la manie de la technologie. Cet enthousiasme excessif pour l'ordinateur et pour les nouvelles méthodes d'input/output a orienté une grande partie de la recherche dans une mauvaise voie. Certains estiment que si l'on emmagasine suffisamment de données de base dans une "banque d'information" d'où les administrateurs peuvent tirer la réponse à n'importe quelle question, "en direct" et en "temps réel", on verra s'ouvrir l'ère de l'administrateur. Aujourd'hui, cependant, on prétend réaliser beaucoup plus qu'on ne réalise en fait.

Il me semble que la plupart des efforts actuels visant à mettre sur pied des systèmes d'information ont été mal orientés parce qu'ils sont fondés sur trois hypothèses erronées. Tout d'abord, on suppose que les administrateurs se plaignent davantage de manquer des informations voulues que d'être surchargés de données inutiles. Cette hypothèse ne résiste pas à un examen, même superficiel; la plupart des administrateurs sont au contraire accablés d'informations. Aussi,ne pouvant utiliser toutes celles dont ils disposent, adoptent-ils des procédures qui en sont moins tributaires. Ajouter de nouvelles données à un flux déjà important, loin de leur être d'aucune aide, découragera ceux qui s'efforceraient de tirer parti des informations actuelles.

Si l'on veut que les renseignements soient utilisés plus efficacement, les administrateurs doivent en recevoir moins qu'à présent, mais ces informations doivent correspondre à leurs besoins et leur parvenir en temps voulu. Par conséquent, l'essentiel n'est pas tant de produire, d'emmaganiser et de puiser des informations nouvelles que de filtrer (c'est-à-dire d'évaluer) les données qui ne présentent pas d'utilité et de condenser celles qui en ont. Tel doit être le souci primordial de ceux qui conçoivent les systèmes d'information, ce qui n'est pas le cas actuellement.

En second lieu, on suppose que si l'administrateur reçoit les informations qu'il désire et quand il les désire, le processus de décision en sera nécessairement amélioré. Cela est parfois vrai, mais il est évident qu'il n'en sera pas ainsi dans beaucoup, pour ne pas dire dans la plupart des cas. La recherche opérationnelle a fait apparaître un certain nombre de problèmes de direction relativement simples pour lesquels, même si toutes les données nécessaires sont disponibles, il n'en est pas moins difficile de trouver une solution satisfaisante. Pour de nombreuses décisions donc, il ne suffit pas d'avoir les données voulues, il faut également avoir des directives sur la manière de parvenir à ces décisions.

Enfin, la plupart de ceux qui mettent au point les systèmes d'information prennent pour hypothèse qu'en améliorant les communications entre les administrateurs, on augmentera le rendement de l'organisation. La théorie de l'organisation a montré cependant qu'un bon système de communication peut donner de mauvais résultats si la structure de l'organisation est déficiente (Voir Ackoff, 1966).

Ces hypothèses fausses découlent non seulement d'un enthousiasme excessif pour des techniques nouvelles, mais aussi de la méconnaissance du fait qu'un système d'information n'est qu'un sous-système et qu'il doit être intégré dans un système de commandes. L'un ne va pas sans l'autre. Les systèmes d'information nécessaires aux administrateurs ne peuvent être conçus que par une équipe d'administrateurs, d'analystes de systèmes et de spécialistes de la recherche opérationnelle.

Pour mettre au point un système d'information, il faut d'abord bien connaître le système de décisions auquel il doit servir. L'analyste doit commencer par identifier les différents types de décision et leur interdépendance. Cette analyse doit permettre d'établir un graphique de flux montrant clairement les inter-relations des décisions.

Chaque décision doit ensuite être analysée afin de déterminer le type d'information qu'elle requiert pour être prise en connaissance de cause. Cette analyse ne peut être effectuée que par des spécialistes de la recherche opérationnelle. Même lorsque les décisions ne peuvent être optimalisées, on peut d'ordinaire recourir à un modèle donnant au moins les informations qu'elles exigent. Demander les réponses à ceux qui sont chargés de décider risquerait de systématiser bon nombre des erreurs inhérentes au système actuel et, dans bien des cas, d'en introduire de nouvelles.

C'est après, et après seulement, qu'il faut se demander où les informations nécessaires doivent être fournies et comment elles doivent être transmises, stockées, traitées et retirées. On commence en général par là, les deux premières étapes étant remplacées, au besoin, par des hypothèses commodes.

Enfin, il faut reconnaître que tout système d'information aussi bien conçu soit-il, aura de nombreux défauts. Il est donc nécessaire de prévoir un moyen lui donnant la possibilité d'évaluer ses propres résultats et de se corriger lui-même, en cas de besoin. Ces commandes du système d'information peuvent - c'est en général le cas - exiger la participation d'administrateurs et de spécialistes de la recherche opérationnelle. On devrait toujours interdire aux administrateurs d'utiliser un système d'information dont ils ne peuvent évaluer les résultats. S'ils le font, c'est qu'ils ont abdiqué une de leurs principales responsabilités au profit du technicien de l'information qui, lui, n'est pas à même d'assumer cette tâche avec efficacité.

IV-6. Commandes

Ce que l'on peut toujours supposer dans tout processus de planification, c'est qu'une bonne partie du plan est faux. Il faut donc prendre des dispositions pour trouver les erreurs,

les défauts, et pour y remédier. En d'autres termes, un plan devrait contenir un mécanisme d'amélioration permanente.

Récemment, j'ai pris part à un débat télévisé sur l'impact de la technologie sur l'urbanisme. Le présentateur montrait le plan d'une ville de demain dans laquelle seuls les piétons circulaient en surface, les transports publics et les voitures étant obligées de rouler en souterrains. Le présentateur manifestait un grand enthousiasme, mais un autre participant et moi-même étions réticents tous deux pour la même raison d'ailleurs. Nous avons fait remarquer que tout plan de transport comporte un grand nombre d'erreurs qui doivent être rectifiées lorsqu'il est mis en oeuvre. La plupart des autoroutes et des voies à grande circulation doivent être constamment modifiées une fois qu'elles sont mises en service. Dans ce plan de la cité de l'avenir, le réseau des transports était intégré structurellement aux immeubles, de telle sorte que pour changer quoi que soit à une artère, il fallait détruire des bâtiments ou les modifier considérablement. Nous avons fait remarquer que le coût limiterait les possibilités de changements, si bien que nous serions obligés de supporter plus longtemps qu'aujourd'hui nos erreurs de planification des transports.

Un plan devrait comporter un mécanisme d'analyse permettant de déterminer en quoi et pourquoi il ne fonctionne pas, ainsi que des dispositifs d'auto-correction. C'est pour cela qu'un système de commandes est nécessaire. Ce système implique à son tour qu'une unité administrative assume la fonction de contrôle, et occupe dans la structure de l'organisation une place lui permettant d'être en contact avec les autorités responsables des décisions et d'avoir accès aux informations nécessaires pour s'acquitter de sa tâche. Cette unité doit dépendre directement des instances qui sont habilitées à accepter ou rejeter le plan et, en conséquence, ont pouvoir de le modifier en cours d'exécution.

Un système de commandes permet non seulement de corriger les erreurs, mais également de répondre à des changements de situation imprévisibles : innovations technologiques spectaculaires, conflits internationaux, transformations économiques ou modifications de la législation relative au fonctionnement de l'organisation ou de l'institution. On peut toujours prédire à coup sûr que l'imprévisible se produira, aussi l'organisation doit-elle pouvoir y faire face, si l'on veut qu'elle reste en mesure d'atteindre ses objectifs dans le nouveau contexte. Rien ne montre aussi bien la nécessité d'une planification et d'un contrôle d'une organisation que son incapacité à s'adapter au changement.

V. Les stratégies de la planification stratégique

Bien entendu, la plupart des plans ne comportent pas les cinq parties que j'ai indiquées (à savoir : objectifs et buts, politiques, ressources, structure de l'organisation et commandes). Dans le domaine de la planification, il y a loin des principes à la pratique. En comparant les types de plans en vigueur aux concepts énoncés ci-dessus, on peut envisager divers moyens pour améliorer les pratiques courantes, même avec les techniques imparfaites dont nous disposons. Je vais examiner trois de ces moyens : (1) la "satisfactibilité" - pardonnez-moi cette tentative assez malheureuse de combler une lacune de notre vocabulaire -, (2) l'optimalisation, et (3) l'ajustabilité.

V-1. "Satisfactibilité"

La plupart des plans actuels entrent sous cette rubrique. On commence par déterminer des buts que l'on croit (bien que ceci soit rarement démontré) à la fois réalisables et désirables, de l'avis même des planificateurs. Une fois les buts fixés - et d'ordinaire ils le sont indépendamment des autres aspects de la planification - on cherche à formuler

des politiques d'application dont on pense qu'elles permettent d'atteindre les buts et qui puissent être acceptées par les responsables des décisions et par ceux qui sont chargés de la mise en oeuvre.

Dans ce contexte, un plan est réputé réalisable : 1) s'il ne s'écarte pas sensiblement des politiques et des pratiques en cours, 2) s'il exige au plus une faible augmentation des ressources, 3) s'il n'entraîne pas de modifications importantes dans la structure de l'organisation (qui se heurtent, en général. à des oppositions), et 4) s'il ne prévoit pas, ou prévoit peu d'erreurs possibles ou de divergences par rapport aux résultats escomptés; il est donc très peu question de contrôle.

Une telle planification vise presque exclusivement à un ensemble de mesures d'exécution réalisables. Elle formule rarement, pour autant qu'elle les ait envisagées, des politiques de rechange. A l'appui de cette méthode, on fait valoir en général qu'il est préférable d'établir un plan réalisable qui ne soit pas optimal, plutôt qu'un plan optimal qui ne soit pas réalisable. En fait, cet argument n'est convaincant qu'en apparence. A la réflexion, on s'aperçoit qu'il néglige la possibilité de faire le plan qui soit le plus réalisable. L'optimalité peut et doit être définie en fonction des possibilités de réalisation (comme Anderson l'a fait, en 1965), ce qui nous oblige à examiner les critères de réalisation qui, en fait, sont rarement explicités dans ce processus de "satisfactibilité". D'autre part, il peut être préférable d'atteindre approximativement les résultats d'un plan optimal que d'atteindre exactement ceux d'un plan moins bon.

Il n'est pas surprenant que ce type de planification marque rarement une coupure nette avec le passé. En général, il suit confortablement la plupart des politiques et des pratiques en vigueur et respecte la structure de l'organisation, se bornant à en corriger les défauts les plus évidents. La méthode de la "satisfactibilité" semble chercher à justifier ou à redresser le passé plutôt qu'à façonner l'avenir. C'est pourquoi elle séduit les organisations qui attachent un grand intérêt à leur survie et une moindre importance à leur croissance et à leur développement. Elle plaît également aux planificateurs qui n'ont pas envie de se mettre dans un guêpier.

V-2. Optimalisation

Dans ce deuxième type de planification, l'établissement des objectifs et le choix des politiques d'exécution réagissent l'un sur l'autre. On s'efforce de faire mieux que de l'à peu près ; on veut faire aussi bien que possible. Les ressources nécessaires, leur mobilisation et leur répartition sont prises en compte.

La méthode de l'optimalisation découle en grande partie de la recherche opérationnelle. Elle implique la construction de modèles mathématiques du système que l'on planifie; modèles que l'on peut analyser ou simuler pour déterminer l'impact des différentes politiques et de l'allocation des ressources sur les résultats de l'organisation.

Toutefois, comme on l'a indiqué ci-dessus, nous ne savons pas encore construire de modèles de l'ensemble d'une organisation, qui soient faciles à manier tout en étant suffisamment détaillés pour produire un plan global optimal. On fait donc en général des modèles qui représentent des parties du système mais qui, étant inter-dépendants, fournissent des solutions approximativement optimales aux problèmes d'une planification globale.

La construction, la vérification et l'utilisation de ces modèles demandant des efforts considérables à des spécialistes chevronnés de la recherche opérationnelle, l'optimalisation est donc une méthode de planification beaucoup plus longue et coûteuse que la précédente. Ces raisons et l'effroi qu'engendre l'utilisation des mathématiques et des techniques scientifiques suffisent à éloigner de nombreux administrateurs de cette méthode de planification.

Cependant, les tentatives faites pour élaborer des plans vraiment optimaux sont presque toujours intéressantes, même si elles sont infructueuses : en construisant et en manipulant des modèles, les chercheurs apprennent à mieux comprendre le système à planifier. Malheureusement, ils ne parviennent pas toujours à se faire entendre des responsables politiques, la faute en incombant autant aux uns qu'aux autres. Quoi qu'on tente pour améliorer les communications entre ces groupes, rien ne peut combler le fossé de la méfiance mutuelle.

Considérons maintenant le côté négatif de l'optimalisation. Tout d'abord, la structure de l'organisation est rarement traitée explicitement dans ce type de planification, parce que l'on commence seulement à en être capable. En conséquence, lorsqu'on s'efforce d'optimaliser la structure, il faut encore se fonder très largement sur des jugements qualitatifs. Trop de chercheurs qui ont adopté les techniques de l'optimalisation préfèrent ne pas avoir à formuler de tels jugements et en viennent donc à omettre cette partie essentielle de la planification.

Examinons maintenant comment les techniques d'optimalisation sont utilisées pour le contrôle. Ces techniques ne tiennent compte que des seules incertitudes concernant l'avenir qui peuvent être identifiées à l'avance. D'autre part, alors que par l'optimalisation, nous pouvons mettre au point une unité de commande ou "moniteur" que l'on ajoutera au système pour traiter ces incertitudes prévisibles - nous ne pouvons pas en avoir une qui soit intégrée au système et qui permettrait un auto-contrôle accru des unités déjà incorporées dans le système. Cette distinction et sa portée ne sont pas faciles à définir et à comprendre. Laissez-moi essayer de la préciser en examinant une troisième méthode de planification qui vise à remédier à ce défaut. Cette méthode n'est pas couramment employée; c'est un espoir qui n'est pas encore tout à fait réalisé.

V-3. Adaptabilisation

Le contrôle est nécessaire non seulement parce que nous ne pouvons pas prédire l'avenir infailliblement, ni même concevoir toutes les conditions possibles de l'avenir, mais aussi parce que des modifications se produisent dans le présent : c'est ainsi que la demande d'un service varie quotidiennement; il en va de même de l'afflux ou des sorties d'argent au sein d'une collectivité, des délais de livraisons des biens d'équipement, etc. Planifier seulement la "moyenne" (ou une seule valeur spécifique) d'une activité variable, c'est aller au-devant de la crise et mal utiliser les moyens disponibles : imaginons ce que serait le rendement d'une autoroute qui aurait été conçue pour sa charge moyenne. Il est donc souhaitable de planifier organisations et opérations de telle sorte qu'elles puissent non seulement s'adapter aux changements les plus importants de l'avenir, mais également s'ajuster d'elles-mêmes aux fluctuations à court terme de la demande. Les commandes, telles qu'elles sont en général conçues dans la planification d'une organisation, sont destinées à l'adapter aux grands changements durables du milieu et du système en cause, mais non pas aux variations dans la courte période. Examinons ce qu'il est nécessaire de faire pour répondre à ces variations.

Il est évident tout d'abord qu'il faut une certaine flexibilité en ce qui concerne les installations et les équipements. Par exemple, le sens de la circulation dans le tunnel Lincoln qui relie le New Jersey à la ville de New York peut être inversé suivant la modification de la demande, le matin et le soir. La même solution peut être adoptée pour les deux voies centrales du Chicago Expressway. L'idéal serait de disposer d'installations qui puissent être élargies ou retrécies selon les besoins. Cela est possible, dans une certaine mesure, mais rarement autant qu'il le faudrait. Il faut donc exploiter cette notion de flexibilité et d'utilisation contrôlée.

Il y a deux manières d'envisager le contrôle, selon que l'on s'efforce de stabiliser les demandes imposées au système pendant la longue période ou dans le court terme.

Considérons d'abord l'orientation vers le long terme. Je citerai le cas d'un fabricant de machines-outils dont la demande variait largement d'une année à l'autre selon la conjoncture. Cette entreprise a trouvé un autre produit soumis également à de fortes fluctuations cycliques et faisant appel aux techniques que la firme employait déjà, mais dont la demande variait en sens inverse de celle des machines-outils : l'équipement pour la construction des autoroutes. Cette nouvelle fabrication a réduit dans une très forte proportion les variations de la charge annuelle de production de l'entreprise.

Dans un autre cas, une compagnie a diminué les aléas inhérents à de faibles commandes de produits dont la vente n'était pas rentable en donnant à ses vendeurs un pourcentage non plus sur le volume, mais sur le montant des affaires traitées. En supprimant les commissions sur les ventes qui n'étaient pas profitables et en augmentant le courtage sur celles qui l'étaient, elle a réduit considérablement la vente des articles non rentables qu'elle ne pouvait pas supprimer de la gamme de ses productions, et a augmenté de façon très sensible celle des produits bénéficiaires.

Le principe dont procède ce dernier type de commandes est l'un des plus importants dans la planification ajustée, parce qu'il permet de faire face aux variations du système que ce soit à court terme ou à long terme. Il implique que l'on incite ceux qui participent au système à agir de façon compatible avec les intérêts de l'organisation tout entière, en créant des stimulants propres à faire mieux coïncider les intérêts individuels et ceux de l'organisation.

Voyons comment on pourrait appliquer ce principe pour inciter les individus à mieux utiliser les moyens de transports dans leur propre intérêt et dans celui de la collectivité. D'abord, les péages afférents aux ponts, tunnels et autoroutes, pourraient, au moins pendant les périodes de pointe, être inversement proportionnels au nombre des passagers de la voiture. Plus précisément, ils pourraient être calculés en fonction du nombre de places inoccupées d'une automobile. Une voiture à deux places, transportant deux passagers, paierait donc un péage moindre qu'un véhicule à six places dont deux, trois ou quatre seulement seraient occupées. On encouragerait ainsi l'emploi de petites voitures, ainsi qu'une meilleure utilisation de la capacité du parc automobile.

D'autre part, les péages peuvent varier selon la demande. On pourrait donc les augmenter pendant les heures de pointe et les abaisser pendant les heures creuses. Quelques lignes de chemin de fer ont déjà adopté ce principe, mais les responsables de la circulation routière ne l'ont pas fait.

Dans une planification ajustée, non seulement le système devrait comporter des commandes le protégeant contre les changements importants et relativement durables endogènes ou exogènes, mais les composants du système devraient être eux aussi adaptables pour qu'il soit possible soit de faire face plus efficacement aux variations à court terme, soit de les réduire.

Si l'on pouvait concevoir et construire un système parfaitement ajustable, il n'y aurait plus besoin de le planifier. L'idéal du planificateur est donc un système qui se passe de planification.

VI. La nature de l'éducation

Afin de proposer une définition et une mesure de l'enseignement qui soient valables du point de vue opérationnel, je dois recourir à des concepts fondamentaux de la théorie de la décision, et en particulier à celui de la "situation de problème". On peut dire d'un individu qu'il se trouve dans cette situation si les conditions suivantes sont réunies :

(a) L'individu a le choix entre deux lignes de conduite au moins. Si tel n'est pas le cas, il ne peut y avoir de choix, et s'il n'y a pas choix, il ne peut y avoir de problème.

(b) Il y a au moins deux solutions possibles. Si tel n'est pas le cas, le choix de l'individu est sans importance; quoi qu'il fasse, il aboutira aux mêmes résultats; il n'y a donc pas de choix réel.

(c) Dans la série de variantes, l'individu doit en préférer au moins une. Si tel n'est pas le cas, peu lui importe que telle ou telle variante se produise.

(d) Les diverses lignes de conduite possibles doivent offrir des probabilités, inégales, de produire les résultats préférés; sinon le choix n'affecterait pas les résultats.

(e) L'individu doit avoir des doutes quant à la meilleure ligne de conduite à adopter. S'il connaît ou croit connaître la meilleure, subjectivement il n'a pas de problème, bien que tous les éléments objectifs d'un problème puissent exister.

La situation de problème est donc constituée par quatre types de composantes :

$\underline{I}$: l'individu ou le groupe qui fait face au problème;

$\underline{C_i}$: les diverses lignes de conduite possibles;

$\underline{O_j}$: les divers résultats possibles;

$\underline{N}$: le milieu c'est-à-dire les facteurs qui vont affecter la probabilité qu'un résultat se produise si une des lignes de conduite est choisie.

En outre, il y a trois types de mesures (paramètres) d'une situation de problème :

$\underline{P_i} = \underline{P}(\underline{C_i}\ \underline{I},\underline{N})$: probabilité que I choisira $\underline{C_i}$ dans $\underline{N}$.

$\underline{E_{ij}} = \underline{P}(\underline{O_j}\ \underline{I},\underline{C_i},\underline{N})$: probabilité que $\underline{C_i}$, s'il est choisi par $\underline{I}$ dans $\underline{N}$, produise $\underline{O_j}$; l'efficacité de $\underline{C_i}$ pour $\underline{O_j}$ dans $\underline{N}$.

$\underline{U_j}$ = l'utilité ou la valeur relative de $\underline{O_j}$ pour $\underline{I}$ dans $\underline{N}$.

D'où l'utilité escomptée d'une situation de problème pour celui qui le traite, $\underline{I}$, est donnée par :

$$\sum_{\underline{i}} \sum_{\underline{j}} \underline{P_i}\ \underline{E_{ij}}\ \underline{U_j}$$

La communication est un processus par lequel un individu, en utilisant des messages (signes et symboles), modifie tout paramètre ou toute combinaison de paramètres d'une situation de problème pour quelqu'un d'autre ou pour lui-même (cette définition est expliquée en détail ailleurs; Ackoff, 1958). Je me suis efforcé, dans cet article, de montrer que, dans la mesure où un message modifie les probabilités de choix de celui qui le reçoit, il l'informe; dans la mesure où ce message modifie l'efficacité de son choix, il lui donne des instructions; et dans la mesure où il modifie les utilités qui sont les siennes, il lui donne une motivation. Les moyens de mesurer la quantité et la valeur de ces modes de communication ont été également exposés.

Si j'ai décrit, trop brièvement d'ailleurs, quelques aspects des théories de la décision et de la communication, c'est en raison de la définition de l'éducation que je propose :

On appelle éducation tout processus de communication ou de démonstration qui augmente l'utilité qu'en escompte un bénéficiaire dans une ou plusieurs situations de problème

Il résulte de cette définition que, pour remplir son rôle, l'éducation doit informer, instruire ou motiver; et cela de telle façon qu'elle augmente la valeur de ce que le bénéficiaire peut tirer de la vie. Cette définition ne limite pas l'éducation à l'instruction scolaire, mais couvre également l'enseignement reçu à la maison, dans la rue, par la lecture des journaux, etc.

Miles Martin et moi-même (voir Martin, 1963) avons montré que les mesures de communications définies ci-dessus sont applicables et qu'il est donc possible de mesurer l'éducation telle qu'on vient de la définir. Cependant, ces méthodes de mesure sont trop coûteuses et trop longues pour servir actuellement à évaluer le processus d'éducation, en particulier s'il met en cause un grand nombre d'individus. Avant d'en venir à l'examen d'autres possibilités, j'aimerais faire observer que les méthodes indiquées plus haut permettent de déterminer la corrélation entre les résultats des tests de connaissances largement utilisés et la mesure de l'éducation proposée ici. Les résultats de ces tests pourraient ainsi devenir l'indice de quelque chose.

Il est évident que même s'il y a une bonne corrélation entre les résultats des tests de connaissances et les accroissements de l'utilité escomptée imputables à l'information et à l'éducation, ces résultats sont peu révélateurs des motivations que le processus d'éducation a transmises. Il en est de même, mais peut-être dans une moindre mesure, de l'utilisation du revenu escompté comme indice de la valeur de l'éducation. De nombreux économistes ont franchement abordé le problème en analysant les objectifs non économiques de l'éducation; ce qui ne les a d'ailleurs pas poussé à tenter d'incorporer les valeurs intrinsèques de l'éducation dans aucun de leurs modèles (Voir, par exemple, Bénard, 1966).

William Platt (1961) a construit un modèle conceptuel de l'enseignement et de son rôle économique et social, qui tient compte à la fois de ses valeurs intrinsèques et extrinsèques. Je ne sais pas s'il a jamais mis ce modèle sous une forme mathématique; je l'ai cependant trouvé extrêmement intéressant. J'en parle ici, car je veux le prendre comme base pour construire moi-même un modèle.

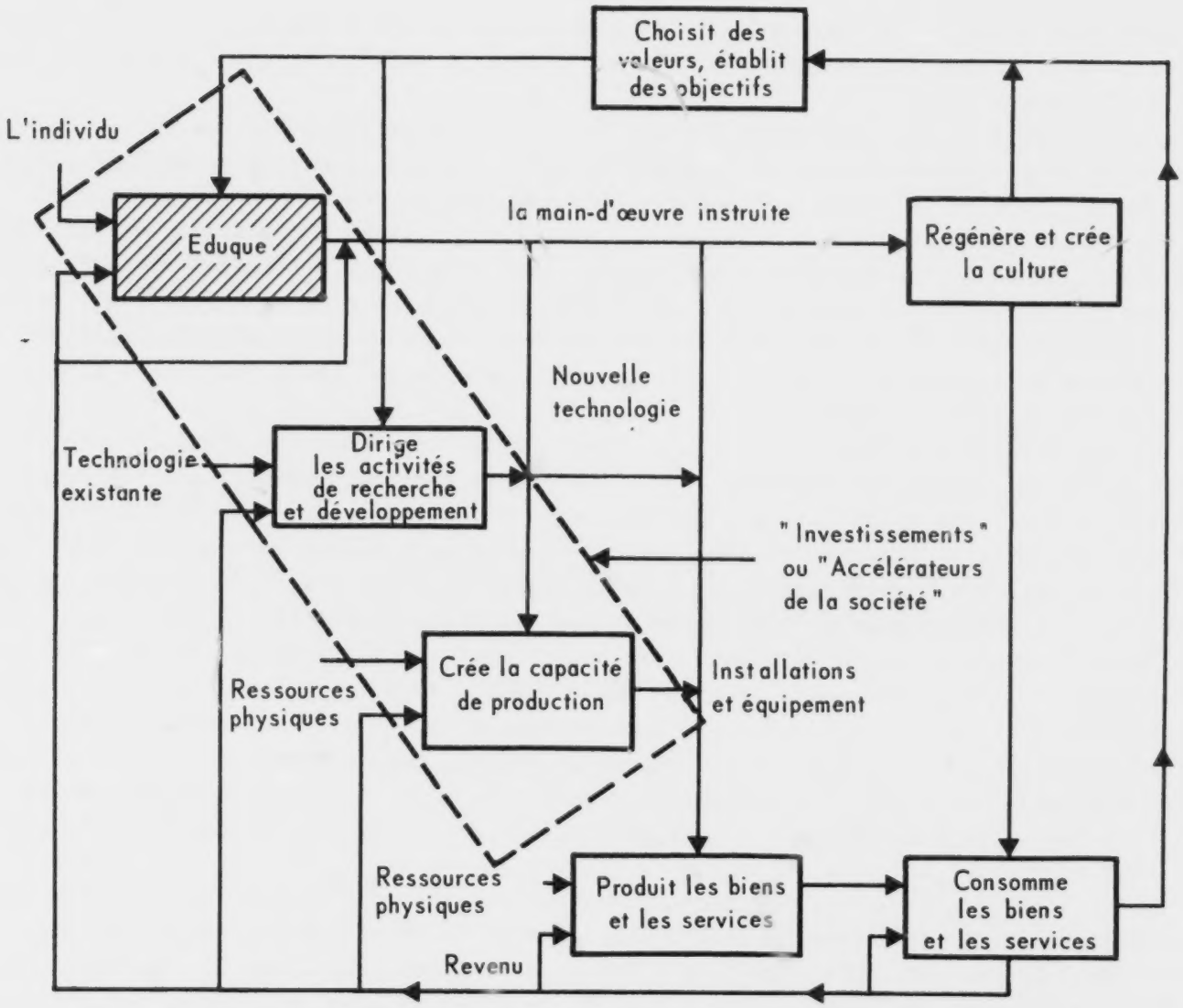
Platt (voir Figure 1) est convaincu qu'il est nécessaire d'obtenir plus que des corrélations entre les investissements dans l'enseignement et le bien-être économique. Nous devrions, au moins chercher à expliquer l'impact de l'enseignement sur le bien-être économique, et incorporer les résultats de l'analyse dans des modèles de décision qui répondent aux besoins des responsables de la politique. Ce qui veut dire que nous devons apprendre non seulement quels sont les effets de l'éducation, mais comment elle les engendre.

Il semble évident que le développement économique dépend de l'investissement dans les activités de recherche et de développement, dans les moyens de production et dans l'enseignement. Les répercussions de l'investissement dans la recherche et le développement sur les taux de développement économique semblent être fonction des investissements fait auparavant dans l'enseignement, car le rendement des investissements de R et D dépend de la qualité des individus qui y sont engagés. De la même façon, la mesure dont l'investissement dans les moyens de production affecte le taux de développement économique semble dépendre des investissements effectués antérieurement, tant dans le domaine de la recherche et du développement que dans celui de l'enseignement.

Le taux actuel de croissance économique est fonction des investissements antérieurs dans l'enseignement. Il sera plus sensible à ce qui aura été investi pendant certaines années que dans d'autres. En conséquence, cette variable et toutes celles qui caractérisent les investissements devront être des valeurs cumulatives pondérées.

Figure 1*

L'EDUCATION, CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT



Ce diagramme montre comment l'enseignement et les autres types d'investissement contribuent au développement. L'objectif du système est «une vie heureuse», faite d'une réussite culturelle et économique. Pour «Eduque», les inputs de l'éducation sont les individus et les budgets d'enseignement; les facteurs déterminants sont les valeurs et les objectifs de la société; l'output est «la main-d'œuvre instruite», c'est-à-dire les individus instruits qui accomplissent les opérations productives du système économique, consomment les biens et les services, créent et régénèrent la culture.

* *Voir Platt* (août 1961), p.4.

Le modèle de Platt ne tient pas compte de l'importation et de l'exportation de main-d'oeuvre éduquée, de capital et de biens et services. Il ne prend pas non plus en considération les investissements dans le système de distribution et de marketing, indispensables pour mettre les biens et les services à la disposition des consommateurs. Je m'efforcerai d'en tenir compte lorsque j'élargirai son modèle.

Peut-on trouver les relations entre les variables qui sont nécessaires à la construction d'un tel modèle ? J'en suis persuadé, car des fonctions similaires et tout aussi difficiles ont été identifiées dans des contextes semblables.

Il y a quelques années, le groupe de recherche opérationnelle du "Case Institute of Technology" avait entrepris une étude à la demande de la Fondation Nationale des Sciences (Bureau des Etudes Spéciales) pour mesurer l'effet des investissements d'une entreprise dans les activités de recherche et développement, sur son expansion économique. Cette expansion dépend de divers types d'investissements et de dépenses : par exemple, investissements dans les installations, les moyens de marketing, l'administration, tout autant que dans la recherche et le développement. Les relations entre ces variables et leurs rapports avec le développement économique de l'entreprise s'apparentent à celles que j'ai examinées à propos des investissements dans l'éducation. Dans une étude consacrée à trois sociétés de produits chimiques, Dean et Sengupta (1962) ont mis au point les fonctions nécessaires à l'application de ce modèle. (Pour un compte rendu non technique de leurs travaux et d'autres travaux de même nature, voir Ackoff, 1965).

Il est vraisemblable que les formes des fonctions mathématiques qui permettent d'expliquer les effets de l'investissement dans l'enseignement dans différentes zones urbaines, seront de même nature, mais que les paramètres seront différents. Une similitude de forme indiquerait que l'enseignement fonctionne de même manière dans les communautés différentes. Au contraire, une différence dans les paramètres signifierait que chaque communauté est unique en son genre. C'est ce que l'on a constaté en identifiant les fonctions recherche et développement propres aux trois entreprises de l'industrie chimique.

Un modèle du rôle de l'éducation dans la collectivité

En faisant de larges emprunts à Platt, je voudrais proposer le modèle conceptuel indiqué dans la Figure 2. Dans ce modèle, les ressources ont été divisées en trois groupes : main-d'oeuvre, capitaux, biens et services intrinsèques (c'est-à-dire les biens et services qui permettent d'obtenir d'autres éléments ayant une valeur). On observera que ces trois types de ressources sont dirigés vers cinq types d'activité : enseignement, recherche et développement, production, marketing et distribution, création et maintien d'une culture (c'est-à-dire des biens et services intrinsèques parce qu'ils ont une valeur en eux-mêmes). Chacune de ces activités est productrice de revenus et réalimente donc la masse des ressources financières. Chacune de ces ressources peut être importée ou exportée. L'importation de l'une d'elles peut nécessiter l'exportation d'une autre.

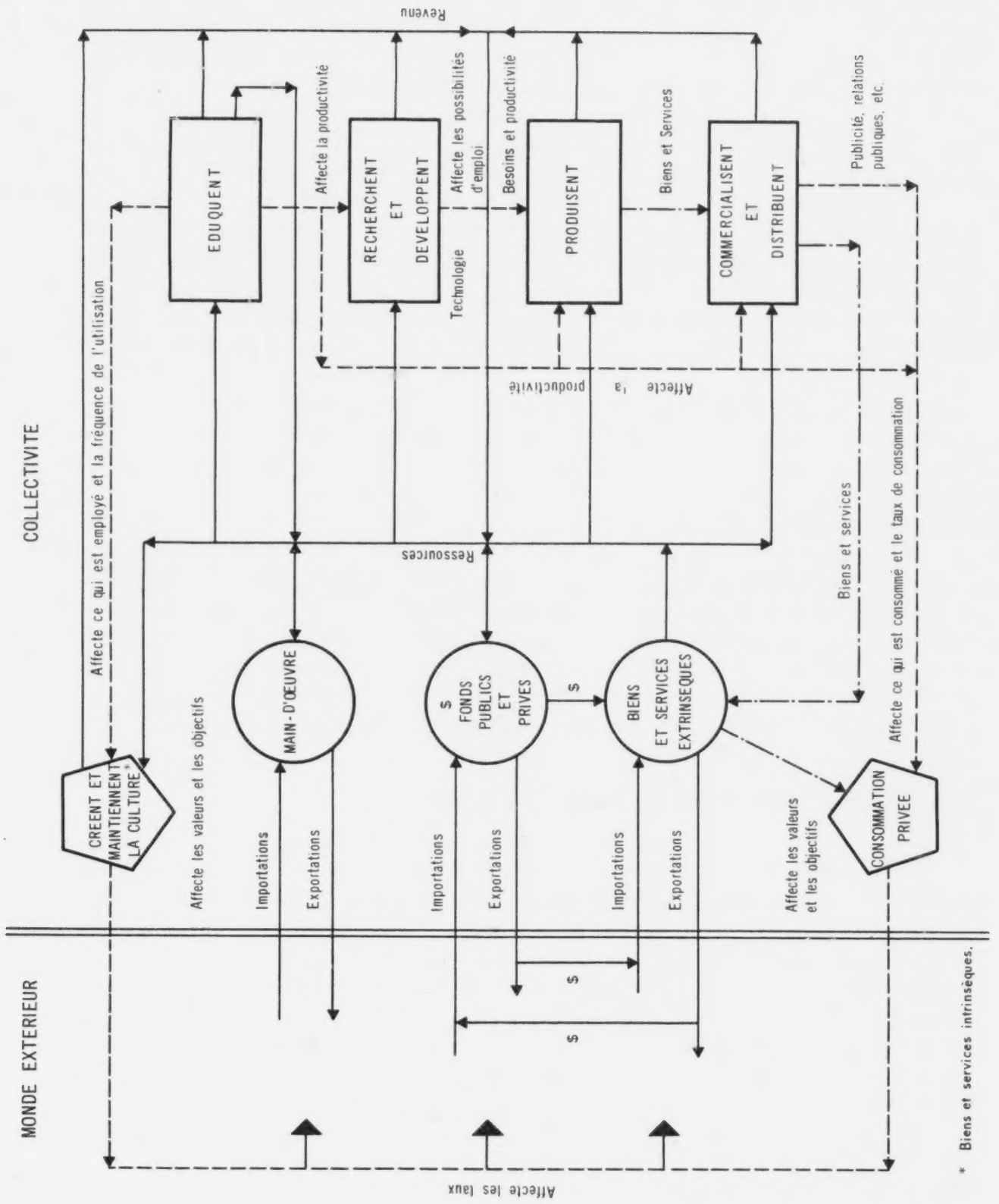
Les biens et les services passent de la production au marketing et à la distribution, puis vont à la masse où ils sont divisés entre consommation personnelle, consommation des administrations et exportations.

L'éducation se répercute sur la productivité de la recherche et du développement de la production, du marketing et de la distribution. Elle affecte également les modes de consommation des biens et des services intrinsèques et extrinsèques. En outre, si on y ajoute l'importation, elle fournit l'input de la main-d'oeuvre.

Le montant et la distribution de la consommation des biens et des services intrinsèques et extrinsèques ont des incidences sur les objectifs qu'une collectivité se fixe pour elle-même. Ces objectifs, en retour, affectent la répartition des ressources qui déterminent le montant des biens et services destinés à la consommation.

Figure 2

MODELE SCHEMATIQUE DE LA COMMUNAUTE



Mon modèle conceptuel est destiné à servir aux Etats-Unis. Il faudrait le modifier pour l'utiliser ailleurs. D'autre part, il ne peut à lui seul résoudre aucun des problèmes de la planification de l'enseignement, mais il peut aider à définir les problèmes qu'il faudra résoudre avant qu'on puisse élaborer un plan efficace. Jusqu'à présent, on a essayé de planifier l'enseignement sans en connaître suffisamment le contexte socio-économique. Des travaux de recherche s'imposent dans ce domaine. Des modèles analogues à celui que j'ai proposé peuvent être d'une grande utilité.

Le modèle que je suggère peut nous aider à trouver la mesure du rendement du système d'enseignement dans une collectivité et des estimations de cette mesure. Je voudrais maintenant examiner chacune de ces possibilités.

Une modification des ressources investies dans l'enseignement peut avoir un effet continu sur la consommation en biens et services, intrinsèques ou extrinsèques, d'une collectivité. Le changement intervenu dans l'utilité à la suite des variations de la consommation est l'utilité des modifications de l'investissement dans l'enseignement. L'importance des variations de la consommation que provoque une modification de l'investissement dans l'éducation dépend de plusieurs facteurs, notamment de la façon dont l'investissement dans l'enseignement est utilisé; c'est dire qu'il dépend des politiques et pratiques d'enseignement. Des modèles détaillés du système d'enseignement seraient nécessaires pour choisir les politiques et pratiques optimales, mais il faudrait que leur variable dépendante soit une mesure du rendement du système.

Considérons d'abord comment nous pourrons mesurer l'utilité des modifications de la consommation dans une collectivité.

(a) Il nous faut d'abord une mesure du montant de la consommation individuelle de biens intrinsèques et extrinsèques pendant une période donnée (par exemple, une année).

Nous pouvons utiliser le coût de ces biens et services extrinsèques exprimé en unités monétaires normalisées. Ceci ne nous donne pas seulement le coût pour un individu, mais également le montant payé par quiconque (y compris la collectivité) pour les biens et les services consommés par cet individu.

Pour mesurer le montant des biens et des services intrinsèques que consomme cet individu, nous pouvons nous servir du nombre d'heures pendant lesquelles cet individu les a utilisés. Par exemple, le nombre d'heures qu'il a passées dans les musées, les jardins publics ou devant la télévision. Cette méthode pourrait être affinée, en mesurant la consommation de chaque catégorie de biens et de services, et en agrégant les résultats.

(b) Pour que la consommation totale puisse être mesurée, les montants des divers types de consommation doivent être commensurables (c'est-à-dire exprimés sur la base d'une échelle commune).

On peut le faire en déterminant la valeur monétaire de chaque type de consommation individuelle. La valeur monétaire qu'attache un individu au montant correspondant à tel ou tel type de consommation est représentée par la somme maximale d'argent qu'il est prêt à dépenser pour l'obtenir. Notons que cette somme est en général plus élevée que le montant dépensé en fait pour la plupart des achats, puisque l'acheteur s'efforce d'obtenir une augmentation nette de l'utilité, c'est-à-dire de dépenser une somme d'argent qui a pour lui une utilité moindre que l'utilité des biens et services qu'il obtient en retour.

(c) Puisque l'utilité de l'argent est rarement une fonction linéaire croissante de la somme dépensée, nous ne pouvons pas ajouter les valeurs monétaires obtenues à l'étape (b) ci-dessus pour mesurer la valeur totale de la consommation. Il est donc nécessaire de connaître la fonction d'utilité de l'argent pour chaque individu. Cela fait, il est possible

de déterminer l'utilité pour l'individu de la somme des valeurs monétaires de ce qu'il a consommé.

(d) Lorsque les trois démarches précédentes ont été effectuées pour chacun, ou pour un échantillon représentatif des individus vivant dans la collectivité, il faut agréger les utilités individuelles en une mesure de l'utilité sociale de la consommation dans cette collectivité. Pour savoir comment faire, il faut comprendre que l'utilité étant en général mesurée sur une échelle d'intervalles (c'est-à-dire, avec un point zéro arbitraire et des unités d'échelle), l'échelle par laquelle l'utilité de l'argent est mesurée peut être transformée de telle sorte que l'intégrale de la fonction d'utilité pour chaque individu dans les limites de cette fonction, soit égale à une certaine constante C, prédéterminée. Si la même constante est utilisée pour chaque individu de la collectivité, et que les mesures d'utilité individuelle sont sommées pour donner une mesure de l'utilité sociale totale, on a utilisé ce faisant, une éthique sociale égalitarienne. Toute éthique sociale peut être exprimée suivant la façon dont les constantes (montants totaux de l'utilité) sont affectées aux membres de la collectivité. (Pour l'étude de cet aspect des utilités sociales vois Minas et Ackoff, 1964).

Les quatre étapes brièvement décrites ci-dessus peuvent permettre d'obtenir une mesure de l'utilité sociale de la consommation dans une collectivité, donc, une mesure des modifications de consommation découlant des investissements et politiques dans le domaine de l'enseignement pendant toute période considérée. Puisque de tels changements demandent du temps et durent, une méthode permettant de les analyser sur de nombreuses périodes doit être élaborée. La méthode la plus simple est de sommer les mesures d'utilité sociale pendant les périodes qui ont connu de nouveaux investissements et de nouvelles politiques dans le domaine de l'enseignement. Mais le faire voudrait dire que l'on considère l'utilité de l'utilité constante dans le temps. La méthode traditionnelle d'actualisation des bénéfices escomptés dans l'avenir peut être utilisée à ce point de l'analyse où la consommation est convertie en unités monétaires (étape b) : ce qui veut dire que la consommation d'un montant déterminé de biens et de services pendant une année donnée peut représenter une valeur monétaire supérieure (ou inférieure) à celle de la même consommation l'année suivante. Ces valeurs correspondraient donc à des utilités différentes pour l'individu.

Puisque, pour un individu, l'utilité de l'argent est fonction de la quantité d'argent dont il dispose et des biens et services qui lui sont fournis gratuitement, la fonction d'utilité de l'argent variera vraisemblablement pour lui dans le temps. Il est donc nécessaire de savoir comment et quand ces changements surviendront, puisque les futurs bénéfices devront être exprimés en termes de fonctions d'utilité futures et non pas actuelles.

Dans ce qui précède, j'ai pris pour hypothèse qu'il était possible de mesurer les modifications de la consommation provoquée par les investissements et les politiques dans le domaine de l'enseignement. Dans la pratique, bien entendu, les variations qui interviennent sont dûes à un grand nombre de facteurs qui peuvent être ou non commandés. Pour isoler la contribution de l'enseignement dans cet océan d'interactions, une formulation mathématique du modèle conceptuel que j'ai suggéré est nécessaire. Le planificateur doit conduire ses expériences dans l'abstrait et au moyen de modèles. C'est le seul moyen qui lui permette d'identifier l'impact d'une partie d'un système hautement intégré. Il ne dispose pas du monde réel pour conduire son expérience et, en disposerait-il, que le monde réel réagirait trop lentement pour qu'il puisse explorer toute la gamme d'alternatives qu'un modèle lui permet d'étudier.

VII. Conclusion

Je suis certain d'avoir épuisé mon auditoire sans avoir toutefois épuisé le sujet. Permettez-moi de résumer ce "résumé".

J'ai voulu livrer à l'examen les questions qui, à mon avis, sont au centre de la planification stratégique de l'enseignement. Je crois que nous avons consacré une trop grande partie des faibles ressources qui nous sont allouées pour la recherche en matière d'éducation, à des problèmes tactiques et trop peu à la stratégie. Les débats ont montré à plusieurs reprises que la solution des problèmes tactiques dépendait de la solution des problèmes stratégiques. Cerner et isoler les problèmes des sous-systèmes, pour pouvoir appliquer les techniques actuelles de la recherche, se justifie, mais, prétendre apporter ainsi une aide substantielle aux planificateurs de l'enseignement, c'est aller au-devant de déceptions certaines. Ce sont les problèmes que nous devons étudier et non pas les techniques et les instruments de recherche. Quand les techniques et outils d'analyse ne sont pas satisfaisants, nous devons en mettre d'autres au point.

Les sceptiques vont sans doute hocher la tête d'un air entendu et dire : "Vous voyez, pour résoudre un problème déjà très compliqué, vous avez découvert qu'il faut trouver une solution à beaucoup d'autres problèmes encore plus compliqués et difficiles. Est-ce que vous appelez cela un progrès ?".

Cette réaction tient à ce que l'on suppose, à tort, que l'on peut classer les questions scientifiques selon leur complexité et leur difficulté. La simplicité n'est pas une caractéristique d'un problème; elle indique que nous sommes capables, à un moment donné, de le résoudre. En outre, la science ne va pas des faits simples aux théories complexes. En premier lieu, tout fait, quand il est étudié en profondeur dans des conditions où son existence apporte une grande différence, devient aussi compliqué qu'une théorie, et exige pour être lui-même confirmé qu'un grand nombre de théories le soient. En deuxième lieu, les faits peuvent tout aussi bien procéder de la théorie que la théorie des faits. Pour être plus précis, nous en sommes venus à prendre conscience qu'il y a des systèmes (et la collectivité est l'un de ces systèmes) dont nous ne pouvons apprendre sans cesse à mieux connaître les composantes, sans mieux connaître, dans le même temps, le système tout entier.

Nous ne pouvons, en dernière analyse, évaluer un service quel qu'il soit de la collectivité, si nous ne sommes pas en mesure d'évaluer tout autre service. C'est sur le front de la connaissance tout entier qu'il faut progresser et non pas faire une série de petites incursions en profondeur dans l'ignoré.

REFERENCES

Ackoff, R.L. : "Towards a Behavorial Theory of Communication", Management Science, 4(1958), 218-234

Ackoff, R.L. : "Rounding out the Management Sciences, "Columbia Journal of World Business, 1 (Winter, 1966), 33-36

Ackoff, R.L. : "Specialized versus Generalized Models in Research Budgeting", in Research Program Effectiveness, ed. by M.C. Yovits et al. Gordon and Breach, New York 1966, 169-186

Anderson, Jacqueline : Operations Research and Long-Range Planning, Ph. D. Thesis in Operations Research, Case Institute of Technology, Cleveland, 1966

Benard, Jean : "General Optimization Model for the Economy and Education" Publication of Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, DAS/EID/66.25 8 March, 1966

Benson, Frank and Martin, M.W., Jr. : "Individual Preferences for Various Means of Transportation", Management Science Center, University of Pennsylvania, Philadelphia, 11 April, 1966

Dean, B.V., and Sengupta, S.S. : "Research Budgeting and Project Selection" IRE Transactions on Engineering Management, Dec. 1962, 158-169

Management Science Center : "Individual Preferences for Various Means of Transportation", University of Pennsylvania, Philadelphia, May 28, 1965

Minas, J.S. and Ackoff, R.L. : "Individual and Collective Value Judgments", In Human Judgments and Optimality, ed. by M.W. Shelly, II and G.L. Bryan, John Wiley and Sons, New York, 1964, 351-359

Martin, M.W. Jr. : "The Measurement of Value of Scientific Information" in Operations Research in Research and Development, ed. by B.V. Dean, John Wiley and Sons, New York, 1963

Platt, W.J. : "Educational Policy for Economic Growth" Stanford Research Institute, Menlo Park, California, August, 1961

Sengupta, S.S. and Ackoff, R.L. : "Systems Theory from an Operations Research Point of View", IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, 1(Nov. 1965), 9-13.

LIST OF PARTICIPANTS

LISTE DES PARTICIPANTS

Contributors/Auteurs des Documents

Dr. Clark C. ABT	Abt Associates Inc., 55 Wheeler Street, Cambridge, Mass. ETATS-UNIS/U.S.A.
Mr. J.S. FOLKERS	Department of Mathematics, Delft Technological University, Julianalaan 132, Delft PAYS-BAS/NETHERLANDS
Dr. D.A.C. HEIGHAM	Department of Education and Science, Curzon Street, London, W.1., ROYAUME-UNI/UNITED KINGDOM
Professor Richard W. JUDY, Consultant in University Planning	Office of Institutional Research, University of Toronto, Toronto 5, Ontario, CANADA
Professor Hermann KOENIG (en collaboration avec/in collaboration with MM. ZEMACH and KEENEY)	Division of Engineering Research, Michigan State University, East Lansing, Michigan 48823, ETATS-UNIS/U.S.A.
M. R. LACHENE	S.E.M.A., 35, Bld. Brune, Paris 14°, FRANCE
Dr. John LIONS	J. Kates and Associates, Management Consultants, 20 Spadina Road, Toronto 4, Ontario, CANADA

Dr. Alexander MOOD Assistant Commissioner for Educational Statistics (en collaboration avec/in collaboration with Mr. WEINFELD)	Department of Health, Education and Welfare, Office of Education, Washington, D.C., 20202 ETATS-UNIS/U.S.A.
Mr. Mac MURRAY	Forecasting and Planning Group, Ministry of Education and Ecclesiastical Affairs, Mynttorget 2, Stockholm 2, SUEDE/SWEDEN
Mr. G. SVANFELDT	Central Bureau of Statistics, Forecasting Institute, Fack, Stockholm 27, SUEDE/SWEDEN
Dr. David S. STOLLER	Director, Division of Operations Analysis, NCES Dept. of Health, Education and Welfare, Office of Education, Washington, D.C., 20202 ETATS-UNIS/U.S.A.

OECD Invited Experts/Experts invités par l'OCDE

Professor Russell L. ACKOFF (Chairman/Président)	Wharton School of Finance and Commerce, Management Science Center, University of Pennsylvania, Philadelphia 19104, ETATS-UNIS/U.S.A.
Mr. William HYLAND	Development Branch, Department of Education, Marlboro' Street. Dublin, 1, IRLANDE/IRELAND
Dr. Kristen NYGAARD	Norsk Regnesentral, Forskingsv. 1B, Oslo 3, NORVEGE/NORWAY
Mr. J. STRINGER Deputy Director	Institute for Operational Research, 3 Devonshire Street, London, W.1, ROYAUME-UNI/UNITED KINGDOM
Mr. R.A. WARD	Local Government Operational Research Unit, 119 Kings Road, Reading ROYAUME-UNI/UNITED KINGDOM

Mr. M. ZIVKOVIC	The Yugoslav Institute for Economic Research, Zmaj Jovina 12, Belgrade, YOUGOSLAVIE/YUGOSLAVIA

Country Representatives/Représentants Nationaux

Allemagne/Germany

Dr. FREYTAG	Alfred-Weber- Institut für Sozial- und Staatswissenschaften der Universität Heidelberg, Bergheimerstrasse 104 - 106 Heidelberg

France

M. FERREZ, Chef du Service d'Organisation et de Gestion des Etablissements scolaires	Ministère de l'Education Nationale, 110, rue de Grenelle, Paris 7ème
M. G. CAPLAT, Sous-Directeur de l'Orientation scolaire et professionnelle	Ministère de l'Education Nationale, 110, rue de Grenelle, Paris 7ème

Grèce/Greece

Mr. C. DOUSSIS	Director, Division of Planning, Ministry of Co-ordination 3 Amerikis Street Athens

Norvège/Norway

M. N. CARLSSON	The Technical University of Norway.
Mr. Kristen HATLEVIK	Headmaster of Nygård School, Bergen Chairman of the State Council on Experiments in Schools
Mr. Olav MAGNUSSEN	Consultant, Ministry of Education, Planning Department

Pays-Bas/Netherlands

Mr. R. RUITER	Central Planning Bureau 14 van Stolkweg The Hague

Portugal

Mme Maria Margarida da GAMA SANTOS Planning Technician	M.R.P. Portuguese Team, Av. Infante Santo, 68-1°C, Lisbon
Mr. Fernando de JESUS	Av. Infante Santo 68-7° F, Lisbon

Turquie/Turkey

M. Ziya BURSALIOGLU	Assistant Director General of Manpower Training, Ministry of Education, Ankara

Yougoslavie/Yugoslavia

Mme Herta HAAS, Conseiller Spécial	Institut Fédéral pour la Planification, Belgrade

Observers/Observateurs

M. Gustave BEMTGEN	Division de l'Enseignement Général et Technique, Conseil de l'Europe, Strasbourg FRANCE
Mr. N.J. TAYLOR	UNESCO, Place de Fontenoy, Paris 7ème
Mr. Philip COOMBS	International Institute for Educational Planning, 7, rue Eugène Delacroix, Paris 16ème FRANCE
Mr. Donald J. CLOUGH, Associate Professor	University of Toronto, Toronto 5, Ontario, CANADA
Mr. Hector CORREA	Department of Economics Wayne State University, Detroit, Michigan 48202, ETATS-UNIS/U.S.A.
Mr. HANDA) Dr. HELLER)	Ontario Institute for Studies in Education, University of Toronto, 102 Bloor Street West, Toronto, Ontario CANADA

Mr. J. LEVINE	University of Toronto, Toronto 5, Ontario CANADA
Mme J. MORICE (pour M. R. LACHENE)	S.E.M.A. 35, Bd. Brune, Paris 14ème FRANCE
Mr. Clive MYERS	28 St. Mary's Butts, READING, Berkshire, ROYAUME-UNI/UNITED KINGDOM

OECD Secretariat, Directorate for Scientific Affairs
Secrétariat de l'OCDE, Direction des Affaires Scientifiques

Mr. J.R. GASS	Deputy Director/Directeur Adjoint
Mr. G. PAPADOPOULOS	Acting Head of the Educational Investment and Development Division/ En charge de la Division des Investissements et du Développement en matière d'Enseignement
Mr. G. WILLIAMS	Head of Section/Chef de Section
Mr. P. ALPER	Consultant
Mr. P. LEVASSEUR	Consultant

OECD SALES AGENTS
DÉPOSITAIRES DES PUBLICATIONS DE L'OCDE

ARGENTINE - ARGENTINE
Editorial Sudamericana S.A.,
Humberto 1° 545 BUENOS AIRES

AUSTRALIA - AUSTRALIE
B.C.N. Agencies Pty, Ltd.,
178 Collins Street, MELBOURNE. 3000.

AUSTRIA - AUTRICHE
Gerold & Co., Graben 31, WIEN 1
Sub-Agent : GRAZ : Buchhandlung Jos. A. Kienreich, Sackstrasse 6.

BELGIUM - BELGIQUE
Standaard Wetenschappelijke Uitgeverij
Belgiëlei 147, ANVERS.
Librairie des Sciences
76-78, Coudenberg, BRUXELLES 1.

CANADA
Queen's Printer - L'imprimeur de la Reine.
OTTAWA.

DENMARK - DANEMARK
Munksgaard Boghandel, Ltd., Nörregade 6
KÖBENHAVN K.

FINLAND - FINLANDE
Akateeminen Kirjakauppa, Keskuskatu 2,
HELSINKI.

FORMOSA - FORMOSE
Books and Scientific Supplies Services, Ltd.
P.O.B. 83, TAIPEI.
TAIWAN.

FRANCE
Bureau des Publications de l'OCDE
2, rue André-Pascal, 75 PARIS-16e
Principaux sous-dépositaires :
PARIS : Presses Universitaires de France,
49, bd Saint-Michel, 5e
Sciences Politiques (Lib.). 30, rue Saint-Guillaume,7
13 AIX-EN-PROVENCE : Librairie de l'Université.
38 GRENOBLE : Arthaud
67 STRASBOURG : Berger-Levrault.

GERMANY - ALLEMAGNE
Deutscher Bundes-Verlag G.m.b.H.
Postfach 9380, 53 BONN.
Sub-Agents : BERLIN 62 : Elwert & Meurer.
MUNCHEN : Hueber, HAMBURG : Reuter-Klöckner ; und in den massgebenden Buchhandlungen Deutschlands.

GREECE - GRECE
Librairie Kauffmann, 28, rue du Stade,
ATHÈNES-132.
Librairie Internationale Jean Mihalopoulos
33, rue Sainte-Sophie, THESSALONIKI

ICELAND - ISLANDE
Snæbjörn Jónsson & Co., h.f., Hafnarstræti 9,
P.O. Box 1131, REYKJAVIK.

INDIA - INDE
International Book House Ltd.,
9 Ash Lane, Mahatma Gandhi Road, BOMBAY 1
Oxford Book and Stationery Co. :
NEW DELHI Scindia House.
CALCUTTA, 17 Park Street.

IRELAND - IRLANDE
Eason & Son, 40-41 Lower O'Connell Street,
DUBLIN

ISRAEL
Emanuel Brown,
35 Allenby Road, and 48 Nahlath Benjamin St.,
TEL-AVIV.

ITALY - ITALIE
Libreria Commissionaria Sansoni
Via Lamarmora 45, 50 121 FIRENZE.
Via P. Mercuri 19/B, 00 193 ROMA.
Sous-dépositaires :
Libreria Hoepli, Via Hoepli 5, 20 121 MILANO.
Libreria Lattes, Via Garibaldi 3, 10 122 TORINO.
La diffusione delle edizioni OCDE è inoltre assicurata dalle migliori librerie nelle città più importanti.

JAPAN - JAPON
Maruzen Company Ltd.,
6 Tori-Nichome Nihonbashi, TOKYO 103.
P.O.B. 5050, Tokyo International 100-31.

KENYA
New Era Associates Ghale House, Government Road, P.B. 6854.
NAIROBI.

LEBANON - LIBAN
Redico
Immeuble Edison, Rue Bliss, B.P. 5641
BEYROUTH.

LUXEMBOURG
Librairie Paul Bruck, 22, Grand'Rue,
LUXEMBOURG.

MALTA - MALTE
Labour Book Shop, Workers' Memorial Building,
Old Bakery Street, VALLETTA.

THE NETHERLANDS - PAYS-BAS
W.P. Van Stockum & Zoon,
Buitenhof 36, DEN HAAG.
Sub-Agents : AMSTERDAM C : Scheltema & Holkema, N.V., Rokin 74-76. ROTTERDAM: De Wester Boekhandel, Nieuwe Binnenweg 331.

NEW ZEALAND - NOUVELLE-ZELANDE
Government Printing Office,
Mulgrave Street (Private Bag), WELLINGTON
and Government Bookshops at
AUCKLAND (P.O.B. 5344)
CHRISTCHURCH (P.O.B. 1721)
HAMILTON (P.O.B. 857)
DUNEDIN (P.O.B. 1104).

NORWAY - NORVEGE
A/S Bokhjörnet, Akersgt. 41, OSLO 1.

PAKISTAN
Mirza Book Agency, 65, Shahrah Quaid-E-Azam,
LAHORE 3.

PORTUGAL
Livraria Portugal, Rua do Carmo 70, LISBOA.

SPAIN - ESPAGNE
Mundi Prensa, Castelló 37, MADRID 1.
Libreria Bastinos de José Bosch, Pelayo 52,
BARCELONA 1.

SWEDEN - SUEDE
Fritzes, Kungl. Hovbokhandel,
Fredsgatan 2, STOCKHOLM 16.

SWITZERLAND - SUISSE
Librairie Payot, 6, rue Grenus, 1211 GENÈVE, 11 et à LAUSANNE, NEUCHATEL, VEVEY, MONTREUX, BERNE, BALE, ZURICH.

TURKEY - TURQUIE
Librairie Hachette, 469 Istiklal Caddesi, Beyoglu,
ISTANBUL et 12 Ziya Gökalp Caddesi, ANKARA.

UNITED KINGDOM - ROYAUME-UNI
H.M. Stationery Office, P.O. Box 569, LONDON, S.E.1.
Branches at : EDINBURGH, BIRMINGHAM, BRISTOL, MANCHESTER, CARDIFF, BELFAST.

UNITED STATES OF AMERICA
OECD Publications Center, Suite 1305,
1750 Pennsylvania Ave, N. W.
WASHINGTON, D.C. 20006. Tel : (202) 298-8755.

VENEZUELA
Libreria del Este, Avda. F. Miranda, 52,
Edificio Galipan, CARACAS.

YUGOSLAVIA - YOUGOSLAVIE
Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, P.O.B. 36,
BEOGRAD.

Les commandes provenant de pays où l'OCDE n'a pas encore désigné de dépositaire peuvent être adressées à :
OCDE, Bureau des Publications, 2, Rue André-Pascal, 75 Paris (16e).
Orders and inquiries from countries where sales agents have not yet been appointed may be sent to OECD, Publications Office, 2, rue André-Pascal. 75 Paris (16e)

PUBLICATIONS DE L'O.C.D.E., 2, rue André-Pascal, Paris-16e - N° 24.276 - Dépôt légal 1864 - 1969

IMPRIMÉ EN FRANCE

374